

*Hommage de l'Auteur*

6.

CONTRIBUTION *C. S. Sherrington*

A L'ÉTUDE DE

# LA PHYSIOLOGIE DU NERF

PAR

le D<sup>r</sup> DE BOECK

Médecin adjoint à la maison de Santé d'Uccle.



BRUXELLES

HENRI LAMERTIN, ÉDITEUR-LIBRAIRE

20, RUE DU MARCHÉ AU BOIS.

—  
1893

1891-1892

1891

1891-1892

1891-1892

1891

1891



# CONTRIBUTION

A L'ÉTUDE DE

# LA PHYSIOLOGIE DU NERF

---

## CHAPITRE PREMIER.

### INTRODUCTION.

Dans un travail récent, Demoor, étudiant la structure du nerf rachidien, démontrait, par des réactions microchimiques nouvelles, que le cylindre-axe n'est pas, au point de vue anatomique, assimilable à un conducteur homogène; dans le nerf rachidien, le cylindre-axe est formé de deux substances de composition chimique différente, juxtaposées, dont l'une occupe le segment de Ranvier, l'autre l'espace interannulaire.

Les recherches de Demoor formaient une première étape et fournissaient une base anatomique précise à des recherches sur la physiologie du nerf, qui se poursuivent à l'Institut Solvay.

Le présent travail a pour but d'éclaircir un des points essentiels du fonctionnement du cylindre-axe :

La transmission d'une excitation normale dans un nerf normal s'accompagne-t-elle ou non d'un changement de température appréciable; en d'autres termes, le nerf qui fonctionne s'échauffe-t-il ou se refroidit-il?

La solution de cette question a, pour la connaissance ultérieure du mode de transmission des excitations, une importance sur laquelle nous insisterons plus loin.

On comprend combien ces recherches sont délicates et combien doit être minutieux le procédé d'expérimentation. Aussi est-il nécessaire de préciser dans les moindres détails, les conditions dans lesquelles nous nous sommes placé. *Nous voulions étudier les variations de température du nerf intact, relié à un système nerveux central et périphérique intact; au lieu de nous servir d'irritations artificielles, nous ne voulions employer que des excitations vitales, normales, physiologiques; quant à l'appareil enregistreur, il devait être sensible aux plus minimes variations de température, tout en restant à l'abri des causes d'erreur provenant de sa délicatesse même.*

Chacune de ces conditions expérimentales a une importance capitale. Nous allons les passer successivement en revue.

1° *Intégrité du nerf et du système nerveux.* — Les auteurs qui ont étudié les variations de la température du nerf consécutives à son excitation, n'ont expérimenté que sur des tronçons de nerf et sur des nerfs sectionnés dans leur trajet ; seul Stewart, dans quelques expériences, fait exception à cette règle générale.

Nous ne discuterons pas les inconvénients de cette méthode ; nous ne rechercherons pas si les résultats ainsi obtenus sont ou non applicables au nerf et au système nerveux intacts. Nous avons voulu suivre la voie indiquée par MM. Solvay, Heger et Gerard dans leur travail sur les différences de potentiel existant en divers points des nerfs pendant le fonctionnement vital. D'ailleurs, nous estimons que dans une question aussi délicate que la thermométrie du nerf, il faut viser à se rapprocher le plus possible des conditions physiologiques, serrer de près la réalité ; aussi avons-nous cherché à léser le système nerveux le moins que nous pouvions, et n'avons-nous expérimenté que sur des nerfs « in situ », reliés à un système nerveux anatomiquement et physiologiquement intact.

2° *Mode d'excitation.* — Normalement, l'excitation d'un nerf est toujours indirecte ; le nerf n'est fonctionnellement excité que par l'intermédiaire de ses appareils terminaux, périphériques s'il est sensible, centraux s'il est moteur. L'excitation mécanique par la piquûre, la ligature, l'excitation chimique du tronc nerveux réalisent des conditions artificielles qui en altèrent profondément la continuité et en entraînent rapidement la destruction. Il en est de même, quoiqu'à un degré moins prononcé, de l'excitation directe du nerf par les courants électriques communément employés dans la pratique physiologique.

Nous avons donc rejeté ces procédés d'excitation ou du moins ne les avons-nous considérés que comme des modes d'excitation brutaux et excessifs, dont les effets devaient être contrôlés par l'excitation normale et fonctionnelle du nerf.

Les auteurs qui se sont occupés de la thermométrie du cordon nerveux se sont communément servis de l'excitation électrique ; l'excitation normale, telle qu'elle se produit dans les conditions ordinaires de la vie de l'animal, leur était interdite, puisqu'ils n'opéraient que sur des nerfs sectionnés ou reliés à des débris de centres nerveux.

L'emploi de l'électricité peut devenir la cause d'erreurs multiples et rendre suspects les résultats obtenus. En effet, pour enregistrer les variations de température du nerf, on s'est servi de piles thermo-électriques ou de thermomètres électriques, analogues à celui que nous avons employé. Or, il est très difficile de soustraire ces appareils à l'influence inductrice des courants ; plus la sensibilité de



l'appareil enregistreur augmente, plus augmentent les difficultés. La mise en marche de l'excitateur électrique suffit à elle seule pour déterminer des perturbations dans le galvanomètre aussi bien que dans l'appareil enregistreur de la température, et c'est faire erreur que d'attribuer ces déviations purement artificielles au fonctionnement du nerf lui-même. Nous avons fait quelques recherches sur ce sujet; elles ont suffi à nous montrer combien l'excitant électrique, tel qu'on l'emploie communément dans la pratique physiologique, est infidèle en dépit des précautions les plus minutieuses. Ce fut pour nous un motif de plus de l'abandonner dans nos expériences définitives.

3° *Appareil enregistreur.* — Il est clair que les variations de température constatables dans un nerf qui fonctionne ne peuvent être qu'excessivement faibles : c'est ce que démontrent les recherches de ceux qui, avant nous, ont abordé cette question; c'est ce qui ressort *a priori* de la petitesse de la masse du nerf, de sa pauvreté en vaisseaux.

Pour ce motif, nous avons rejeté les piles thermo-électriques, employées par plusieurs auteurs; elles exigent des variations de température plus étendues, ou du moins une quantité de chaleur supérieure à celles qui sont en jeu.

La première condition à laquelle doit répondre un appareil permettant d'enregistrer une variation aussi minime et aussi fugace que celle qui serait produite dans le nerf par l'excitation, c'est que toute sa masse se mette rapidement en équilibre thermique avec le tronçon nerveux interrogé; il est nécessaire pour cela que la masse qui le compose soit aussi minime que possible. Les piles thermo-électriques ont un poids beaucoup trop élevé relativement à celui du nerf; par conséquent, pour en obtenir une indication, il faut que la chaleur dégagée par le nerf soit beaucoup plus considérable que celle à laquelle on est en droit de s'attendre; d'autre part, les conditions de construction de cette pile ne permettent pas de descendre au-dessous d'une certaine masse, qui, quelque petite qu'elle soit, est beaucoup trop élevée par rapport à la portion de nerf envisagée. C'est pourquoi nous avons complètement rejeté l'emploi de ces piles et nous avons cherché à trouver un appareil dont la masse fût réduite aux dernières limites; nous le décrirons plus loin.

Si nous avons pu atteindre notre but, si nous avons pu obtenir un appareil qui répondît à toutes les exigences, nous le devons aux installations de l'Institut Solvay.

Nous remercions M. le professeur Heger d'avoir mis à notre disposition les appareils qui s'y trouvent, M. L. Gerard des conseils qu'il nous a donnés et de l'empressement qu'il a mis à nous aider pour tous les détails de la partie physique de nos recherches.

## CHAPITRE II.

### HISTORIQUE.

Helmholtz, Valentin, Oehl, Schiff, Heidenhain ont cherché les premiers à résoudre le problème qui nous occupe, et l'idée ne nous serait pas venue de l'aborder après eux, s'ils étaient arrivés à des résultats concordants et si nous n'avions eu à notre disposition un procédé différent du leur. Ils se sont servis de piles thermo-électriques; nous avons utilisé un appareil nouveau, analogue à celui de Rolleston et de Stewart, dont les travaux ont été publiés lorsque nous avons déjà commencé nos recherches.

Les expériences de Helmholtz, publiées à l'époque où du Bois Reymond faisait paraître ses premières recherches sur les phénomènes électriques du nerf et du muscle, ne lui ont donné, contrairement à son attente, que des résultats négatifs. Il s'est servi de la pile thermo-électrique qu'il avait construite pour étudier les variations de température du muscle. Elle se compose de trois barreaux métalliques formés chacun d'une partie centrale en fer, aux deux extrémités de laquelle est soudée une plaque de maillechort. Pour en diminuer la résistance et obtenir un contact parfait avec les tissus à étudier, les barreaux n'ont qu'une faible épaisseur.

Une disposition spéciale permet de relier entre eux et au galvanomètre les trois éléments thermo-électriques placés parallèlement, de façon à former deux rangées de trois soudures chacune, à action contraire sur le galvanomètre; ils sont recouverts de cire à cacheter dans toute leur étendue, sauf aux extrémités qui servent au contact.

Il expérimente sur la grenouille. Après avoir sectionné la moelle à une hauteur quelconque, il prépare les membres inférieurs de façon qu'ils ne soient plus reliés à celle-ci que par les plexus dénudés. Il glisse les éléments thermo-électriques entre les plexus; l'un recouvre la face supérieure, l'autre est en rapport avec la face inférieure des soudures du même ordre, appartenant à une même rangée. Une plaque de liège convenablement préparée maintient les nerfs en contact parfait avec la pile thermo-électrique, empêche la chaleur dégagée par les faisceaux nerveux de rayonner au dehors et les soustrait à l'influence de la chaleur émise par les tissus voisins. Toutes les précautions sont prises pour empêcher l'évaporation de l'eau contenue dans la préparation et les variations de température consécutives.

La moelle, placée sur une plaque de verre, est isolée, au point de vue électrique, de l'appareil enregistreur de la température; on la soumet pendant deux minutes à l'excitation électrique, de façon à produire la tétanisation de la cuisse, et l'on observe ce qui se passe au thermo-multiplicateur de du Bois Reymond.

Dans les expériences parfaites, Helmholtz n'observe pas la moindre déviation du galvanomètre; aussi arrive-t-il à cette conclusion que, s'il y a production de chaleur dans le nerf, la quantité doit en être excessivement minime en comparaison de celle qui est produite par le travail musculaire, et en tout cas ne dépasse pas quelques millièmes de degré centigrade.

Helmholtz insiste sur les précautions à prendre dans les expériences de ce genre, sur les causes d'erreur qui les vicient; il montre notamment combien il est difficile de soustraire la pile thermo-électrique à l'influence du courant électrique qui sert à l'excitation de la moelle et qui enlève, si on n'y prend garde, toute valeur réelle aux lectures faites au galvanomètre.

Le dispositif employé par Helmholtz permettait d'évaluer les 0,00074° de degré centigrade. Helmholtz n'a donc pas observé d'augmentation de température égale à 0°,00074 centigrade.

Cependant il n'en conclut pas que le nerf ne subit pas de variations de température supérieures à 0°,00074 centigrade. Deux faits semblent lui commander cette réserve : d'une part, un défaut du dispositif, la masse considérable de métal qui entre dans la composition de l'appareil enregistreur par rapport à la masse si faible de la source calorifique, à la masse des nerfs sciatiques; d'autre part, certaines conditions de l'expérience elle-même; il est évident, en effet, que s'il se produit une variation de température du nerf, cette variation doit être plus grande dans le nerf normal, entouré de tissus mauvais conducteurs, que dans le nerf en contact avec les soudures. Helmholtz laisse donc la question ouverte.

Les expérimentateurs qui, les premiers après Helmholtz, ont repris cette étude, n'ont pas tenu compte de l'observation si judicieuse qu'il avait formulée relativement à la masse de la pile thermo-électrique. La pile de Helmholtz de trois éléments pèse, d'après nos calculs (1), 15<sup>r</sup>,773. Or, les deux plexus sciatiques et les nerfs sciatiques de la grenouille ne pèsent ensemble que 28 milligrammes, soit soixante fois moins que l'appareil explorateur. L'impossibilité d'expérimenter efficacement dans ces conditions saute

(1) Helmholtz n'a pas donné le poids de la pile thermo-électrique qu'il a employée, non plus que les auteurs qui l'ont suivi. Nous avons obtenu le chiffre de 15<sup>r</sup>,773 en tenant compte des dimensions des éléments et de la densité des métaux qui les composent.



aux yeux, surtout si, comme le dit Stewart, on envisage non pas le poids du nerf entier, mais le poids de la partie active du nerf : du cylindre-axe. On sait que celui-ci suffit à opérer seul la transmission; la gaine de Schwann, la myéline, le manchon protoplasmatique, le tissu conjonctif, le névrilemme ne remplissent apparemment qu'un rôle de protection et interviennent dans la nutrition du nerf. Il est impossible d'isoler les cylindres-axes, de déterminer leur poids propre; mais on peut s'en faire une idée en évaluant la surface qu'ils occupent sur une coupe transversale du nerf; on voit alors les cylindres-axes ne former que la vingt-huitième partie de la surface du nerf (Stewart). Il en résulte que, dans les expériences de Helmholtz, la masse active du nerf, qui seule, *a priori*, semble devoir fournir ou absorber de la chaleur pendant le travail, ne représente approximativement en poids que la 1700<sup>e</sup> partie du poids de l'appareil explorateur.

Ces considérations critiques nous permettent dès maintenant de soupçonner des erreurs d'observation dans les constatations positives faites plus tard par Valentin, Oehl et Schiff, à l'aide d'instruments analogues à ceux dont s'était servi Helmholtz.

Valentin, dans un premier travail sur le nerf de la grenouille, s'est servi de piles thermo-électriques formées d'antimoine et de bismuth, d'un galvanomètre plus sensible que celui employé par Helmholtz et pourvu d'un miroir.

Il construisit deux espèces différentes de piles thermo-électriques; la première, qui lui servit à étudier les effets de l'excitation électrique, se composait de quatre barreaux d'antimoine et de trois barreaux de bismuth en forme de Z, soudés l'un à l'autre par leurs portions courtes. Il obtenait ainsi deux rangées de soudures qu'il recouvrait de cire et qu'il reliait au galvanomètre à l'aide de fils de cuivre convenablement soudés.

Pour préparer le faisceau nerveux, Valentin décapite la grenouille, sectionne les nerfs sciatiques à la hauteur du genou, les dissèque jusqu'à leurs origines multiples à la colonne vertébrale dont il détache autant que possible les parties molles. Il obtient ainsi une préparation composée de la moelle sectionnée à la région cervicale, de la colonne vertébrale et des débris musculaires qui y adhèrent encore, des plexus sacrés et des deux troncs du nerf sciatique jusqu'à leur dédoublement à la hauteur du genou. Les plexus sacrés et les nerfs sciatiques sont déposés sur l'une des rangées de soudures de la pile thermo-électrique ou enroulés autour de celle-ci. Il recouvre la préparation d'un morceau de peau de grenouille pour éviter l'évaporation du faisceau nerveux et enferme le tout dans une caisse de verre saturée de vapeur d'eau; les nerfs en expérience sont excités par l'intermédiaire du



tronçon médullaire sur lequel agit un électromoteur. L'excitation a une durée de 30 secondes et s'accompagne d'un déplacement immédiat du galvanomètre dans le sens d'un échauffement.

Valentin se défend de donner des chiffres rigoureusement exacts; ceux qu'il cite comme exemples ne sont cependant pas dépourvus d'intérêt. Dans une expérience choisie comme type, la première excitation, d'une durée de 90 secondes, détermine une déviation du galvanomètre équivalente à  $0^{\circ},021$  centigrade; à la deuxième, d'une durée de 30 secondes, l'échauffement valait  $0^{\circ},064$ ; il monta pendant les excitations suivantes, de même durée, à  $0,087$ ,  $0,092$ ,  $0,094$ , pour atteindre, à la sixième excitation,  $0^{\circ},099$ , soit  $\frac{1}{10}$  de degré centigrade. Valentin en conclut que l'excitation électrique de la moelle épinière, chez la grenouille, détermine un échauffement du plexus sacré et des nerfs qui en émanent.

Pour contrôler les résultats obtenus par l'excitation électrique de la moelle, Valentin institua une seconde série d'expériences dans laquelle il se servit soit de la pile thermo-électrique précédemment décrite, soit, de préférence, d'une pile thermo-électrique nouvelle, formée de deux éléments reliés par un fil de cuivre flexible; chacun de ces éléments était formé d'un barreau de bismuth et d'un barreau d'antimoine soudés en forme de V. La préparation de la moelle, des plexus sacrés et des nerfs sciatiques était la même que dans la première série de recherches; puis les nerfs sciatiques et les plexus sacrés étaient enroulés autour de la soudure de l'une des aiguilles. Pour exciter la moelle et, par son intermédiaire, le nerf, Valentin y enfonçait une solide aiguille d'acier.

Quoique cet appareil fût moins sensible que le premier, quoique le mode d'excitation fût différent, les résultats observés furent les mêmes. Dans une expérience-type de cette nouvelle série, on voit, trois minutes après l'enfoncement de l'aiguille excitatrice dans la partie supérieure de la moelle, le galvanomètre indiquer un échauffement approximatif de  $0^{\circ},045$ . Deux piqûres nouvelles donnèrent le même résultat.

Il s'ensuit que non seulement l'excitation électrique, mais encore l'excitation mécanique de la moelle déterminent l'échauffement des plexus et des nerfs sciatiques.

Les objections au travail de Valentin sont nombreuses; l'exagération évidente des résultats les fait prévoir.

Lorsque l'on compare au poids des appareils enregistreurs le poids des portions nerveuses thermogènes, on remarque un écart excessif entre la masse de l'organe et celle de la pile thermo-électrique. La pile en zigzag employée par Valentin devait, d'après mes calculs, peser environ 22 grammes; celle en V, 11 grammes; les

plexus sacrés et les nerfs sciatiques réunis, 28 milligrammes, soit respectivement 800 fois et 400 fois moins que les piles. Quelle quantité de chaleur le nerf ne doit-il pas produire, s'il est vrai, comme le prétend Valentin, qu'il échauffe par simple contact de  $0^{\circ},1$  des appareils dont la masse est aussi considérable par rapport à la sienne? Que serait-ce si nous comparions le poids des piles au poids approximatif des cylindres-axes! Nous verrions alors un organe thermogène échauffer de  $0^{\circ},1$  des appareils 22,000 et 11,000 fois plus lourds que lui.

On ne peut tirer argument de la sensibilité que, suivant Valentin, présenteraient les appareils qu'il a employés. La démonstration qu'il en fait n'est pas suffisante. Il plonge une rangée de soudures dans un bain d'huile d'une température un peu supérieure à celle de l'air ambiant, et note la déviation galvanométrique. Lorsque le bain s'est mis à la température ambiante, sa température s'est abaissée de  $0^{\circ},3$  centigrade, comme l'indique le thermomètre à mercure qui y est plongé; l'aiguille du galvanomètre s'est déplacée de onze divisions. Toute déviation d'une division au galvanomètre correspond donc à  $0^{\circ},027$  centigrade. Grâce à l'adjonction au galvanomètre d'un miroir et d'une lunette, des déviations de l'aiguille galvanométrique, de beaucoup inférieures à une division, devenaient perceptibles; la lecture d'une déviation d'une minute devenait aisée, ce qui permettait de noter une différence de température de  $0^{\circ},00045$  centigrade.

Ces conclusions de Valentin dépassent les prémisses; cette expérience ne donne pas de renseignements sur la sensibilité de la pile thermo-électrique, ni sur la rapidité avec laquelle elle fonctionne, sur le temps qu'elle emploie à traduire les oscillations de température des corps avec lesquels elle se trouve en contact. Comparons, pour mieux nous faire comprendre, la pile thermo-électrique de Valentin à un thermomètre à mercure, et supposons que nous ayons affaire à un thermomètre de masse relativement considérable, mais dont la graduation permette de lire le  $\frac{1}{100}$  de degré. Ce thermomètre enregistrera donc à  $\frac{1}{100}$  près la température du milieu ambiant. Est-ce à dire cependant que la colonne de mercure s'élèvera d'une division, d'un  $\frac{1}{100}$  de degré, lorsqu'on la mettra en contact avec un corps de masse excessivement minime en comparaison de la sienne, et dont la température diffère de la sienne de  $\frac{1}{100}$  de degré? Il est inutile de s'attarder à cette démonstration, et l'on doit conclure que l'expérience de Valentin ne donne pas, quoi qu'il prétende, de renseignements suffisants sur la sensibilité thermique des appareils qu'il a employés.

Il est d'autres objections plus directes, par exemple celle qui a trait à l'emploi de l'excitation électrique; nous avons dit précé-

demment pourquoi nous suspicions les expériences thermo-électriques dans lesquelles le courant électrique induit jouait le rôle d'excitateur. Valentin avait prévu cette objection, et pour se prémunir contre les erreurs d'observation provenant de l'excitant électrique, il étudia, dans une seconde série d'expériences, les effets de l'excitation mécanique de la moelle.

Il obtient, il est vrai, les mêmes résultats. Comme dans les expériences électriques, il observe une déviation primaire du galvanomètre concomitante à l'excitation, qu'il attribue à la variation de température du faisceau nerveux en expérience; puis une déviation secondaire, s'ajoutant à la première et qu'il rapporte à la transmission au faisceau nerveux de la chaleur dégagée par le fonctionnement de la moelle et par la contraction des faisceaux musculaires encore adhérents à la préparation.

On saisit tout de suite le point faible de cette interprétation. Rien ne démontre que l'échauffement primaire de la pile thermo-électrique soit bien dû au fonctionnement du faisceau nerveux, et n'est pas dû, comme l'échauffement secondaire, à la contraction des débris musculaires.

Il est, dans les expériences de Valentin, une troisième cause d'erreur tout aussi grave : l'isolement électrique de ses piles thermo-électriques est des plus défectueux ; c'est ce qui ressort de plusieurs passages de son travail.

Cette imperfection de l'isolement rendait possible la production dans le système de phénomènes d'induction amenés par le courant qui parcourt le circuit inducteur. Elle permettait à la variation négative et aux variations électrotoniques du nerf d'affecter le galvanomètre.

Valentin, en effet, se servait de tronçons nerveux; le nerf sciatique adhérait sans doute encore à la moelle; mais il présentait une surface de section à son extrémité inférieure; par conséquent, une surface longitudinale naturelle, une surface transversale artificielle. Il se trouvait ainsi dans les conditions requises pour produire les phénomènes électriques observés par du Bois Reymond. Toute excitation mécanique ou autre devait déterminer une variation négative dans le nerf, immédiatement transmise à la pile, puis au galvanomètre; toute excitation électrique y engendrait des phénomènes électrotoniques qui, à leur tour, influençaient le thermo-multiplicateur et donnaient l'illusion d'un échauffement.

Dans un second travail, dont je n'ai pu me procurer le texte original, Valentin a répété sur des mammifères hibernants les expériences qu'il avait commencées sur la grenouille. Elles l'ont conduit aux mêmes résultats.

Les recherches de Oehl ne me sont connues que par le compte



rendu, d'ailleurs très imparfait, qu'en a donné la *Gazette hebdomadaire de Paris*; elles ont été publiées à la même époque que celles de Valentin, ont été pratiquées d'après la même méthode et ont donné les mêmes résultats. « Après avoir découvert le sciatique » chez une poule, Oehl introduisait l'aiguille thermo-électrique » dans l'angle de bifurcation de ce nerf à la naissance du tibial et » du péronier; toute excitation du sciatique était suivie d'une » augmentation de température. Le même phénomène se repro- » duisait en introduisant l'aiguille dans l'épaisseur même du nerf.

» Ces expériences, répétées sur le lapin, donnèrent des résultats » identiques. De plus, en excitant la moelle mise à nu, Oehl » constata que l'augmentation de température était d'autant plus » forte que l'aiguille enfoncée dans le nerf sciatique était plus » rapprochée de la moelle. »

Il est difficile d'attribuer une grande valeur aux expériences de Oehl d'après ce compte rendu. Un seul fait suffirait à les rendre suspectes : la déviation plus grande du galvanomètre à mesure que la distance diminue entre l'appareil excitateur et l'appareil thermo-électrique. Du reste, les expériences de Oehl n'ont pas satisfait Schiff, bien que cet auteur dût arriver aux mêmes conclusions. D'après lui, elles ne présenteraient pas « un caractère de rigueur » suffisant pour ceux qui n'ont pas personnellement assisté aux » expériences du professeur de Pavie et qui ne connaissent que la » description très succincte qu'il en a donnée ».

Passons à l'examen du travail de Schiff, qui fait autorité dans la matière; il arrive, lui aussi, à cette conclusion que le nerf s'échauffe lorsqu'il est irrité.

Pour déceler les variations de température, il a également employé des piles thermo-électriques de formes variables. Dans une première série d'expériences, il s'est servi de tronçons de nerfs pris sur des animaux à sang chaud, de tronçons de pneumogastrique, de sciatique, d'hypoglosse enlevés à des lapins, des chiens, des chats; d'autres ont été pratiquées sur le bout périphérique du nerf sciatique de la grenouille adhérent encore ou non aux muscles de la jambe.

Avant d'extirper le moignon nerveux, Schiff refroidit l'animal à sang chaud jusqu'à ce qu'il atteigne une température voisine de celle du milieu ambiant. Il obtient ainsi une persistance plus grande de l'excitabilité du nerf. Il en extirpe alors un tronçon dont, dans une première série d'expériences, il écrase ou lie la portion moyenne, et place sur les deux soudures de la pile les deux extrémités du nerf; l'une d'elles est mise en rapport avec des rhéophores donnant passage à un courant induit dont les interruptions assez éloignées déterminent l'excitation.



Comme on le sait, celle-ci ne se transmet que jusqu'à la ligature où siège l'écrasement; Schiff peut ainsi comparer deux portions d'un même nerf, l'une excitée, l'autre inexcitée. Il constate que l'excitation produit une différence de température entre les deux portions situées l'une à droite, l'autre à gauche de l'écrasement ou de la ligature.

D'après Schiff, cette différence est due à une élévation de température dans la portion du nerf la plus rapprochée des excitateurs, la seule sur laquelle l'irritation puisse agir.

Dans une seconde série d'expériences, Schiff se sert de moignons nerveux intacts, n'ayant subi ni écrasement, ni ligature, et provenant également de mammifères tués après refroidissement; l'excitation se propage, cette fois, dans toute la longueur de l'organe. Dans ces conditions, lorsqu'on irrite le nerf, on constate encore une déviation du galvanomètre; elle indique un échauffement plus considérable de la soudure voisine du point irrité. Les déviations du galvanomètre sont beaucoup plus faibles que dans les expériences précédentes; elles n'accusent plus, en effet, que la différence existant entre la chaleur produite dans la portion du nerf la plus rapprochée du point irrité et celle produite dans la portion la plus éloignée de ce point.

Les expériences pratiquées sur le nerf sciatique de la grenouille confirment les précédentes. La contraction des muscles laissés en rapport avec le nerf sert à contrôler la réalité de l'excitation.

Schiff ne se borne pas à employer l'excitant électrique; sur quelques animaux, il étudie les effets de l'irritation mécanique du nerf; un aide ligature brusquement le moignon en expérience pendant que l'expérimentateur observe la marche du galvanomètre. Les résultats montrent une concordance complète entre les résultats obtenus par cette méthode et les précédentes.

Nous devons ici encore formuler les mêmes objections relativement à la masse des appareils thermo-électriques employés par Schiff et à la production probable de phénomènes d'induction, dans l'appareil enregistreur de la chaleur, par l'emploi du courant électrique exciteur. Sans nous arrêter plus longtemps à ces causes d'erreur sur lesquelles nous avons insisté précédemment, nous nous étendrons avec plus de détails sur d'autres critiques tout aussi graves; quelques-unes ont été formulées par Hermann, à l'avis duquel nous nous rallions.

Schiff n'a pas démontré que l'excitation du nerf en produise l'échauffement; en effet, d'une part, l'excitation électrique détermine dans le moignon nerveux sur lequel il expérimentait, des variations électrotoniques qui, comme nous allons le voir, suffisent à provoquer des modifications de température; d'autre part, l'ex-

citation mécanique convenablement pratiquée reste sans influence sur la pile thermo-électrique et le galvanomètre.

Rappelons en quelques mots ce que sont les phénomènes électrotoniques. Lorsqu'on fait passer un courant constant dans une portion de tronçon nerveux encore relié au muscle, il se produit une première excitation au moment de la fermeture, une seconde au moment de l'ouverture du courant, mais dans l'intervalle, malgré la persistance du courant, le nerf paraît en repos.

Dans cette période de repos apparent, il y a variation du courant propre du nerf; ce courant est renforcé ou affaibli suivant la direction du courant constant. Ces modifications ne sont pas limitées à la portion comprise entre les électrodes; elles s'étendent, de part et d'autre, de la région intrapolaire jusqu'aux extrémités du tronçon nerveux. On les a étudiées sous la dénomination de phénomènes électrotoniques.

L'électrotonus ne se produit que dans certaines conditions. Lorsque le nerf est ligaturé ou écrasé, les courants électrotoniques s'arrêtent à la ligature ou au niveau de l'écrasement. Ils ne se produisent que lorsque l'excitation est de nature électrique; les excitations mécaniques, thermiques ou chimiques ne les engendrent pas. Ils perdent de leur intensité à mesure que l'on s'éloigne de la portion intrapolaire du nerf, et ne s'observent que dans le nerf encore excitable.

Toutes les conditions favorables à leur production, le mode d'excitation, la longue durée des interruptions du courant se rencontrent dans les expériences électriques de Schiff. Leur existence dans le tronçon nerveux qu'il étudie, est évidente et admise par l'expérimentateur lui-même. Comme nous nous proposons de le démontrer, ils expliquent les observations qu'il a faites et les justifient sans qu'il faille recourir aux hypothèses insoutenables édifiées par l'auteur pour défendre sa thèse.

En effet, *comme tout corps mauvais conducteur, le nerf s'échauffe lorsqu'il est traversé par un courant électrique*; cet échauffement est maximum dans la portion intrapolaire, par suite de l'existence des phénomènes électrotoniques concomitants; il se produit aussi dans les portions extrapolaires. Il est d'autant plus marqué que l'électrotonus est plus intense, et, par conséquent, décroît à mesure que l'on s'écarte de la portion intrapolaire.

Telle est, selon nous, l'interprétation des phénomènes que Schiff a observés dans ses expériences : d'une part, la quantité de chaleur produite est moindre à l'extrémité inférieure du tronçon nerveux non ligaturé; d'autre part, on n'observe de variations de température que dans la portion située en deçà de la ligature ou de l'écrasement; c'est dans celle-ci seule que les phénomènes électrotoniques se produisent.

Schiff a cherché à combattre cette interprétation ; les expériences instituées dans ce but ne nous paraissent pas décisives. Il ne parvient pas, du reste, à donner l'explication d'un phénomène qui n'a manqué dans aucune de ses recherches : l'échauffement inégal du tronçon nerveux, la diminution progressive de l'échauffement à mesure qu'augmente l'éloignement des rhéophores. Schiff y voit la preuve de ce fait, que l'excitation s'affaiblit à mesure qu'elle parcourt le nerf et qu'elle s'écarte du point d'irritation : hypothèse qui n'a jamais été vérifiée et qu'aucune recherche physiologique ne viendra confirmer, bien au contraire.

Rappelons encore que Schiff lui-même reconnaît la réalité de l'échauffement par électrotonus du nerf, et a invoqué ce fait pour expliquer les phénomènes étranges qu'il a observés après avoir fait traverser le nerf, pendant un temps assez prolongé, par un courant constant.

Lorsqu'un courant de cette nature traverse pendant vingt ou trente minutes une portion du nerf encore rattachée au muscle, celui-ci reste en repos pendant toute la durée du passage du courant, mais entre en tétanos intense aussitôt que le courant est interrompu (tétanos de Ritter). Il se produit à ce moment une excitation maxima du nerf ; cependant la pile thermo-électrique, mise en rapport avec celui-ci, dénote, non pas un échauffement, mais un refroidissement des soudures. Schiff ne parvient à donner l'explication de ce phénomène qu'en attribuant le refroidissement à la cessation de l'électrotonus ; c'est admettre implicitement que celui-ci détermine un échauffement de la portion extrapolaire du nerf.

Mais si l'électrotonus explique les variations de température du nerf consécutives à l'excitation électrique, il n'explique pas l'échauffement déterminé par l'excitation mécanique. Les expériences qui tendent à en démontrer la réalité sont-elles fautives ou viennent-elles juger les résultats donnés par les recherches électriques ?

Remarquons que Schiff a dû rejeter la plupart des expériences dans lesquelles il employait l'excitation mécanique ; la présence de l'aide qui serrait la ligature, influençait à ce point la pile thermo-électrique que toute observation galvanométrique devenait impossible. Schiff ne tient compte que de quelques-unes des expériences dans lesquelles la déviation du galvanomètre restait limitée et concordait avec l'excitation. Il croit alors pouvoir les rapporter l'une à l'autre. Nous ne sommes pas de cet avis et croyons pouvoir rattacher la déviation, quelque limitée qu'elle soit, à la présence de l'aide. Nous trouvons la confirmation de cette opinion dans une note complémentaire publiée par Schiff, quelques mois après son travail principal. Il y démontre qu'une excitation mécanique



maxima du nerf, sa section, restent sans effet sur sa température. Dans cette expérience nouvelle, toute cause d'erreur provenant de la présence de l'aide est évitée. Les dispositions prises sont telles, que le nerf placé en rapport avec la pile thermo-électrique est sectionné à distance à l'aide d'un rasoir de microtome. Dans ces conditions, il ne se produit pas de déviation du galvanomètre, pas d'échauffement du tronçon nerveux.

Nous croyons pouvoir conclure :

1° Que les variations de température observées par Schiff consécutivement à l'emploi de l'excitation électrique, n'impliquent pas de variations de température du nerf en travail; elles ne dépendent que du mode d'excitation;

2° Que l'excitation mécanique du nerf, alors même qu'elle est efficace, ne détermine pas l'échauffement de celui-ci.

Pour terminer cet exposé des recherches faites à l'aide de piles thermo-électriques, rappelons les quelques lignes que Heidenhain a consacrées à cette question dans un travail sur la réaction chimique du tissu nerveux. Il utilisait les piles thermo-électriques qu'il avait déjà employées pour étudier les variations de température du muscle, et n'a obtenu que des résultats négatifs. Comme Helmholtz, Heidenhain n'a pas constaté de variation de température du nerf pendant la transmission d'une excitation.

Quoique erronées, les conclusions de Valentin, de Oehl et de Schiff rencontrèrent beaucoup plus de crédit que celles de Helmholtz et de Heidenhain. Elles venaient se grouper dans l'ensemble des faits révélés par du Bois Reymond et ses élèves; elles complétaient les renseignements recueillis sur la réaction des tronçons nerveux vis-à-vis d'une excitation et sur leur fonctionnement: elles rendaient plus complète l'assimilation presque forcée que l'on faisait entre le nerf et le muscle.

Par ces motifs, et malgré l'imperfection des expériences, la question des variations de température du nerf fut résolue affirmativement. Aussi ce ne fut que longtemps après la publication du travail de Schiff que de nouvelles recherches furent entreprises sur ce sujet par Rolleston et Stewart, à l'aide d'appareils plus sensibles que le thermomètre électrique, d'une masse beaucoup inférieure, basés sur d'autres principes et à l'aide de galvanomètres perfectionnés.

Quel est le principe de ces appareils nouveaux?

Tout circuit métallique oppose au passage du courant électrique une résistance qui varie selon la nature du métal, selon les dimensions et selon la température du circuit.

Lorsque la température reste la même, elle est, pour des fils de même métal, directement proportionnelle à la longueur du fil et en



raison inverse de sa section transversale. Lorsque les dimensions du circuit restent les mêmes, mais que la température varie, la résistance augmente à mesure que le circuit s'échauffe, et décroît à mesure qu'il se refroidit.

Il en résulte d'une part que cette augmentation de résistance du circuit par échauffement est d'autant plus accusée que sa résistance primitive est plus forte, en d'autres termes que sa longueur est plus grande, que les dimensions de sa surface de section sont plus petites; d'autre part, qu'il sera possible, lorsque les dimensions du circuit resteront les mêmes, d'observer les différences de température qu'il subit, en notant les variations de sa résistance. Plus seront sensibles les appareils enregistreurs de ces variations, plus deviendront perceptibles les différences de température du circuit.

C'est d'après le même principe et sur les indications de Callendar qu'a été construit l'appareil de Rolleston; il permet d'enregistrer les variations de la résistance d'un fil de platine placé en contact avec lui.

L'instrument, auquel Callendar a donné le nom de « thermomètre à résistance électrique », consiste en un fil de platine très pur, d'une longueur de 5 centimètres, de  $\frac{1}{1000}$  de pouce de diamètre (soit 25  $\mu$ ); il a une résistance électrique de 8 ohms à 0° centigrade. Ce fil est enroulé sur une plaque de mica de très faible épaisseur et de 3 millimètres carrés de surface; ses extrémités sont soudées à de fines électrodes de cuivre. Pour isoler électriquement le fil de platine, on recouvre les deux faces de l'instrument d'une plaque de mica très mince, que l'on fixe à l'aide de cire. Le poids total de l'appareil n'est que de 4 milligrammes environ.

Pour procéder à l'expérience, on intercale ce thermomètre dans l'un des bras d'un pont de Wheatstone dont l'autre bras correspond à un thermomètre identique; le tout est relié au galvanomètre. En employant, comme le fait Rolleston, deux thermomètres électriques semblables, en les plaçant dans des conditions identiques, on élimine les erreurs dues aux influences extérieures; celles-ci s'exerçant également sur les deux thermomètres, il devient facile de constater les moindres changements de température qui se produisent dans l'un comparativement à l'autre; il suffit pour cela de noter uniquement les variations de leur résistance.

D'après Rolleston, qui ne donne pas de preuve précise de son affirmation, cet appareil était disposé de façon à déceler le  $\frac{1}{2360}$  de degré centigrade; la sensibilité pouvait en être portée à  $\frac{1}{5000}$  de degré. Chacun des deux thermomètres électriques intercalés dans les bras du pont était mis en rapport avec un nerf sciatique de grenouille ou de tortue, que l'on enroulait soigneusement autour de lui de façon à obtenir le meilleur contact possible. Ces nerfs

étaient reliés ou non à un tronçon de moelle épinière d'une part, au muscle gastrocnémien d'autre part. Rolleston ne s'est servi que de l'excitateur électrique; les rhéophores étaient placés sur le bout central de l'un des nerfs; l'autre nerf, placé dans les mêmes conditions de milieu extérieur, mais à l'abri de toute excitation, servait de témoin, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Rolleston a prévu les erreurs possibles par l'emploi de l'excitant électrique, et a pris les précautions les plus minutieuses pour en annihiler l'action perturbatrice. Les interruptions du courant excitateur sont rapides : la production de phénomènes électrotoniques est par conséquent impossible, et avec eux l'échauffement du nerf par électrotonus.

D'autre part, l'écart entre les rhéophores n'est que de 2 millimètres, de façon à limiter, autant que faire se peut, la partie de nerf échauffée par le courant électrique. Ils sont séparés du thermomètre par une portion de nerf assez grande pour empêcher la chaleur dégagée de se transmettre au thermomètre ou pour éviter tout phénomène d'induction dans le dispositif employé par Rolleston; pour plus de sûreté, la distance nécessaire est déterminée expérimentalement.

Assimilant l'excitation électrique à l'excitation nerveuse normale, Rolleston conclut de ses recherches qu'il ne se produit aucune modification de la température dans le tronçon nerveux qui transmet une excitation, ou du moins qu'il ne subit pas d'augmentation de température supérieure à  $\frac{1}{5000}$  de degré centigrade.

Mais s'il en est ainsi pour le nerf vivant, le nerf qui meurt développe au contraire de la chaleur en quantité suffisante, dans quelques expériences, pour élever la température du thermomètre de  $\frac{1}{7000}$  de degré centigrade.

Le travail si remarquable de Rolleston échappe à la plupart des critiques que nous avons formulées contre les auteurs précédents. Le poids de son appareil explorateur est des plus minimes, inférieur à celui du nerf dont il doit déceler la température; l'isolement électrique en est parfait; la sensibilité en est exquise. On ne peut reprocher à Rolleston que d'avoir expérimenté dans des conditions extra-vitales, de s'être servi d'excitations anormales sur un nerf placé dans des conditions extra-normales, et dans certains cas interrompu dans sa continuité.

Stewart a employé des instruments analogues à ceux de Rolleston et basés sur les mêmes principes; il s'était proposé d'étudier les variations de température du sang dans les vaisseaux et les variations de température des tissus musculaires et nerveux. Nous ne nous occuperons que des recherches sur le nerf, qui constituent l'objet principal de son travail.

Les thermomètres de Stewart sont formés d'un fil de platine très fin, de 0,0025 pouce de diamètre (soit  $37.5 \mu$ ) et de longueur variable; ce fil est replié en spirale dans une gouttière d'ébonite, où il est fixé et recouvert d'un vernis isolant; une pièce accessoire vient fermer la gouttière d'ébonite et compléter le manchon placé autour de l'organe à étudier. Comme dans les expériences de Rolleston, deux thermomètres semblables sont intercalés dans un pont de Wheatstone et reliés à un galvanomètre d'une sensibilité convenable.

Les appareils de Stewart sont moins sensibles que ceux de Rolleston; suivant le volume des nerfs à étudier, il se servait de thermomètres de dimensions différentes; les uns, les plus volumineux, décelaient une variation de température de  $\frac{1}{1900}$  de degré; les autres, plus délicats, une variation de  $\frac{1}{2800}$ .

Stewart a étudié :

1° Le nerf sciatique du chien et du lapin; après anesthésie ou curarisation de l'animal, il plaçait deux thermomètres semblables, intercalés dans le pont de Wheatstone, en contact l'un avec le nerf sciatique gauche, l'autre avec le nerf sciatique droit « in situ ». En général, il sectionnait les nerfs près de leur origine centrale et les excitait à ce niveau à l'aide du courant électrique;

2° Des tronçons de nerfs enlevés à des lapins artificiellement refroidis;

3° Des morceaux de moelle dorsale ou lombaire de mammifères.

Dans aucun cas, il n'a observé d'élévation de température du nerf, pourvu qu'il prît soin d'en éviter le déplacement.

Stewart termine son exposé par une critique excessivement intéressante des travaux précédents. Il démontre l'impossibilité presque complète pour le nerf de dégager de la chaleur pendant la transmission d'une excitation, et s'élève contre l'assertion de Rolleston que le nerf qui meurt développe de la chaleur; aucune des expériences de contrôle que Stewart a instituées n'a donné la démonstration de ce fait.

Résumons en quelques mots l'exposé et les critiques que nous venons de faire.

Deux espèces d'instruments ont servi à étudier les variations de température du nerf qui travaille :

a) Les premiers sont des appareils thermo-électriques, et à priori on peut dire qu'ils sont inutilisables; leur masse est excessive par rapport à celle du nerf, et il n'est pas démontré que leur sensibilité soit assez grande pour compenser ce défaut capital. Il suffit, indé-

pendamment des autres objections, à infirmer les résultats obtenus par ce procédé.

Les constatations positives qu'ont faites les auteurs qui s'en sont servis, ne sont pas la conséquence de variations de température survenues dans le nerf, mais relèvent de facteurs secondaires dont ils ont méconnu la valeur.

b) Les seconds, les « thermomètres à résistance électrique », ne présentent aucun de ces inconvénients ; leur poids est minime, leur sensibilité, suffisante ; l'instrument de recherche est parfait ; seulement, les auteurs qui les ont utilisés ont expérimenté sur un système nerveux diversement lésé ; de plus, au lieu d'employer des excitants normaux, ils ont eu recours à des excitations extraphysiologiques.

Il y avait donc lieu, comme nous l'avons fait, de reprendre ces expériences sur des nerfs normaux, *in situ*, reliés à un système nerveux périphérique et central intact, en leur faisant subir des excitations normales, naturelles, et en se servant d'appareils au moins aussi sensibles que ceux de Rolleston et Stewart, et permettant d'atteindre la même précision.

---



### CHAPITRE III.

#### RECHERCHES PERSONNELLES.

##### *Procédés techniques.*

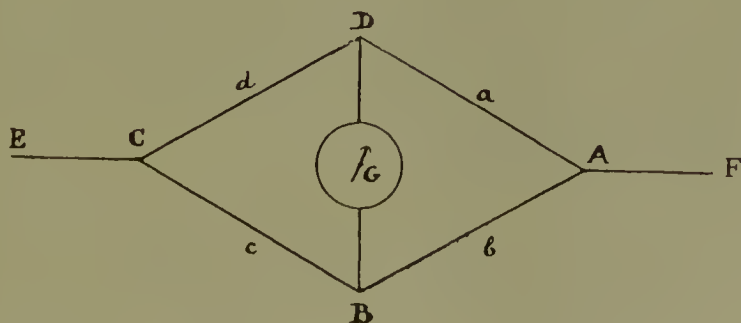
Nous nous sommes servi d'un thermomètre à résistance électrique dont nous devons le principe à l'obligeance de M. le professeur Léon Gerard; sous sa direction, nous avons terminé les recherches préliminaires à nos expériences définitives au moment où paraissait le travail de Rolleston.

Voici le principe de l'appareil :

Les corps métalliques présentent de la résistance au passage du courant électrique; cette résistance, différente pour chaque métal, varie pour un même métal avec la température; en général, elle augmente à mesure que celle-ci s'élève. Il est donc possible, toutes choses égales d'ailleurs, d'enregistrer les modifications de température que subit un circuit métallique en notant les modifications de sa résistance.

La physique connaît de nombreux procédés pour les déterminer; leur délicatesse est proportionnelle à la sensibilité des appareils enregistreurs galvanométriques; c'est dire qu'ils permettent d'évaluer les variations de résistance les plus minimes, par conséquent les écarts les plus infimes de la température d'un circuit.

Entre toutes, les méthodes dites différentielles sont les plus délicates. Nous avons fait choix de la plus précise d'entre elles, la méthode du pont de Wheatstone, que nous tâcherons de décrire succinctement, sans entrer dans trop de détails techniques.



Un circuit métallique formé d'abord d'un fil unique EC, se bifurque; ses branches, après un trajet CD, CB, se replient et se rejoignent en A pour reconstituer le circuit unique AF. Le courant

électrique entre dans le circuit par le fil EC, se bifurque, puis retourne à la pile par le fil unique AF. Aux points d'intersection D et B sont insérés les deux conducteurs d'un galvanomètre, G. L'ensemble de ce schéma porte le nom de pont de Wheatstone.

On démontre d'une part que dans un système de ce genre, la déviation du galvanomètre renseigne exactement la différence de force électromotrice des courants, passant à ses deux points d'intersection au pont; et d'autre part, que le produit des pertes de charge des courants passant par deux côtés opposés du parallélogramme sont égaux, lorsque le galvanomètre n'indique pas de déviation.

Soit  $a$  la perte de charge du courant dans le courant AD

— $b$	—	—	—	AB
— $c$	—	—	—	BC
— $d$	—	—	—	DC

Nous avons, dans le cas que nous venons d'indiquer :

$$ac = bd$$

Si dans cette équation  $c$  et  $b$  sont égaux, en d'autres termes si la perte de charge du courant est égale dans les deux segments du circuit appartenant à la même bifurcation CBA, le galvanomètre ne déviara pas, lorsque la perte de charge du courant sera la même dans les deux côtés restants du parallélogramme, lorsque  $a$  et  $d$  seront égaux.

Inversement, si  $c$  et  $b$  sont égaux, toute déviation du galvanomètre indiquera une variation dans la perte de charge du courant passant dans les deux segments  $a$  et  $d$ . Comme la perte de charge est en raison directe de la résistance du circuit, toutes choses égales d'ailleurs, les déviations du galvanomètre décèleront les variations proportionnelles de la résistance dans les deux portions AD et CD du circuit ADC. Les différences les plus minimes seront perçues, si la sensibilité du galvanomètre est suffisante; plus sera grande cette sensibilité, plus ces différences pourront devenir faibles et être néanmoins enregistrées.

Tel est, en quelques mots, le principe de la méthode que nous avons suivie. Il nous reste à voir comment nous en avons fait l'application pratique, et à décrire successivement :

1. L'instrument explorateur, le thermomètre électrique dont la résistance varie avec les modifications de la température du nerf ;

2. L'instrument comparateur qui sert à compenser d'une manière précise les variations de résistance de l'instrument explorateur.

Ils constituent par leur réunion les deux bras variables du pont de Wheatstone;

3. L'instrument enregistreur, le galvanomètre, qui est actionné par les moindres variations de la résistance du circuit explorateur, lorsque le pont est convenablement disposé.

### § I. — *Le thermomètre électrique.*

Quelles sont les conditions que doit remplir un appareil de ce genre pour réaliser le maximum de sensibilité?

1° Il faut employer un métal qui présente une variation maximum de résistance pour une différence de température donnée;

2° Il faut que la résistance absolue du circuit enregistreur soit la plus grande possible, de façon qu'il présente des variations maxima pour une différence de température minime.

Examinons ces propositions avec quelque détail :

1° Les recherches préliminaires que M. L. Gerard et moi avons entreprises sur les variations de la résistance spécifique des métaux, en fonction de la température, sont venues confirmer ce fait déjà connu, que la modification de la résistance pour une différence donnée de température, varie pour les divers métaux. Ces recherches nous ont montré que, de tous les métaux pratiquement utilisables, le plomb était le plus approprié aux nécessités de nos expériences et préférable au platine employé par Rolleston et Stewart. D'une part, en effet, la résistance absolue du plomb est plus grande que celle du platine; d'autre part cette résistance présente de plus grandes variations pour une différence déterminée de température.

2° Pour construire le thermomètre au moyen d'un fil de plomb, il fallait étirer celui-ci de façon que sa résistance fût la plus grande possible pour une faible longueur, en même temps que sa masse fût des plus minimales en comparaison de celle des nerfs à mettre en rapport avec lui. L'étirement ne donne pas de fils assez minces; le plomb ne résiste pas à l'étirement comme le platine employé par Rolleston et Stewart. Il fallut donc recourir à un procédé spécial qui, après plusieurs essais infructueux, nous a conduit à de bons résultats.

Après avoir battu une feuille de plomb de façon à lui donner  $\frac{1}{10}$  de millimètre d'épaisseur sur une largeur de 2 à 3 millimètres et une longueur de 40 à 50 centimètres, nous la recourbons plusieurs fois sur elle-même; puis nous en faisons l'inclusion dans la paraffine, comme on le ferait d'un morceau d'organe à débiter en coupes. Nous obtenons ainsi un bloc de paraffine dans lequel est



renfermée la lame de plomb, et qu'après solidification nous fixons sur le porte-objet du microtome.

Nous en pratiquons des coupes à la manière ordinaire. Les tranches ainsi obtenues ont une épaisseur qui peut aller de 15 à 20  $\mu$ . Il suffit de dérouler le fil de plomb, de le détacher de son enveloppe de paraffine pour pouvoir l'employer dans la construction du thermomètre. Lorsque ses dimensions sont bien égales dans toute sa longueur, il présente une résistance étonnante à la cassure.

Le bâtis du thermomètre est composé d'une plaque rectangulaire de mica ou d'ivoire de 3 à 4 millimètres d'épaisseur, de 1 centimètre de largeur et de 2 ou 3 centimètres de longueur; elle est fixée à deux conducteurs de cuivre de dimensions telles que leur résistance soit insignifiante; ces conducteurs sont isolés et maintenus à l'aide d'ébonite.

La plaque de mica ou d'ivoire est creusée dans une gouttière large de 1 à 3 millimètres, recouverte d'une couche mince de paraffine dans laquelle on fixe le fil de plomb en le repliant plusieurs fois sur lui-même. (Voir la planche.) Les extrémités sont soudées aux conducteurs de cuivre à l'aide de métal fusible de Darcet.

Pour éviter tout contact électrique avec le nerf, le fil de plomb est recouvert d'une mince couche de paraffine; les soudures, à leur tour, sont noyées dans un bloc commun de la même substance pour les maintenir toutes deux à une température commune et les soustraire aux variations brusques du milieu.

Il suffit de relier les conducteurs de cuivre au pont pour pouvoir se servir de l'appareil.

La dimension à donner aux thermomètres varie selon que l'on opère sur la grenouille ou sur un animal à sang chaud. Ceux que nous avons utilisés dans nos expériences sur la grenouille, sont constitués par des fils de plomb ayant une épaisseur de  $\frac{1}{10}$  de millimètre sur 15 à 25  $\mu$  et repliés trois fois sur eux-mêmes; la partie utile comportait 8 centimètres de fil, la longueur totale entre les deux soudures est de 9 à 10 centimètres; elle occupe une largeur maxima de 1 à 1  $\frac{1}{2}$  millimètre, de façon à obtenir un contact parfait avec le nerf sciatique de la grenouille. La résistance de ce thermomètre était, suivant l'épaisseur du fil de plomb choisi, de 5 à 12 ohms à la température de 18°.

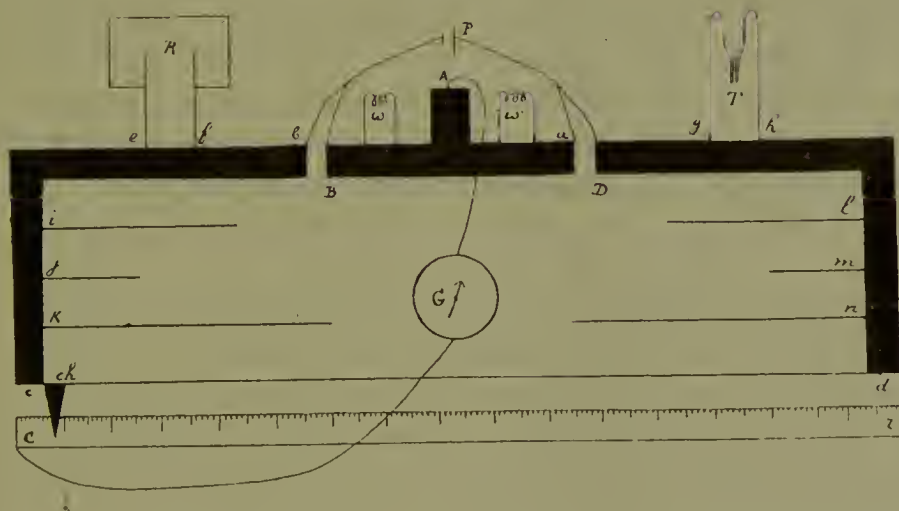
Le thermomètre employé chez l'animal à sang chaud a de plus grandes dimensions; le bâtis d'ivoire a 3 centimètres de longueur sur 1 centimètre de largeur, la rainure destinée à recevoir le fil de plomb et le nerf a 3 à 4 millimètres de largeur. La longueur totale du fil de plomb est de 14 centimètres; il présente cinq tours de spire; son épaisseur est de  $\frac{1}{10}$  de millimètre sur 25 à 30  $\mu$ ; elle



est plus grande que celle du fil de plomb employé chez la grenouille pour éviter un excès de sensibilité, résultant de la différence de longueur. La résistance de ces thermomètres est de 5 à 12 ohms. Cet appareil remplit toutes les conditions de masse sur lesquelles nous avons insisté; on s'en rendra compte par ce fait qu'un fil de plomb de 40 centimètres de longueur, de  $30\ \mu$  d'épaisseur, de  $\frac{1}{10}$  de millimètre d'épaisseur, a un poids de 1 centigramme, 2 milligrammes; ce qui donne pour une longueur de 8 centimètres un poids de  $2\frac{1}{2}$  milligrammes; pour une longueur de 14 centimètres un poids de 4.2 milligrammes.

## § II. — L'appareil compensateur et le galvanomètre.

Il est basé sur le principe du pont de Wheatstone; il constitue un appareil comparateur dont les dispositions ont été réglées avec le plus grand soin par M. L. Gerard qui a surveillé sa construction; nous en donnons ci-contre un croquis simplifié par la suppression de certaines connexions secondaires et des commutateurs du courant.



Il forme dans son ensemble une table rectangulaire mesurant  $1^m8$ , de longueur,  $0^m,21$  de largeur.

Il se compose essentiellement :

- 1° De deux bras égaux AD, AB;
- 2° De deux bras à résistance inégale Dghd chC et Bbfec chC.

1° Les bras égaux AD, AB sont constitués chacun par une règle épaisse de cuivre, de résistance pratiquement nulle; sur chacun d'eux vient s'insérer, à l'aide de connexions épaisses en cuivre, de résistance nulle, un fil de platine d'une résistance rigoureusement égale à 20 ohms. Ces fils de platine ont une épaisseur très minime et sont inclus dans une même masse de paraffine de volume con-

sidérable, enfermée dans une boîte de gutta recouverte à son tour d'une épaisse couche de feutre. Toutes les précautions sont ainsi prises pour éviter les variations de température non simultanées des deux bras égaux du pont ;

2° Les deux bras de résistance inégale sont formés chacun d'une règle de cuivre de résistance pratiquement nulle, sur laquelle viennent s'insérer les résistances variables.

En *gh*, sur l'un des bras, est inséré le thermomètre électrique à l'aide de conducteurs de cuivre, bien isolés, souples, mais d'une grande épaisseur, d'une résistance nulle par conséquent.

En *ef* s'insère une boîte de résistance ordinaire, destinée à donner une première compensation grossière de la résistance du thermomètre électrique. En présence de la sensibilité du galvanomètre, elle ne suffit pas pour donner une compensation assez précise. De là l'adjonction :

1° Sur chacun des bras variables, de résistances en maillechort de  $\frac{1}{2}$ , 1 et 2 ohms, que l'on intercale à volonté dans le courant ;

2° D'un dispositif permettant d'obtenir des variations excessivement minimales de la résistance de l'un ou l'autre des bras variables. Il ferme le pont et est constitué par un fil de maillechort *dc*, d'une résistance de 0,7642 ohm et d'une longueur exacte de 1 mètre ; ce fil est partagé en deux portions qui se rattachent l'une au bras variable gauche, l'autre au bras variable droit du pont par le chariot mobile et qui sert d'autre part d'insertion au pont pour l'un des pôles du galvanomètre. La résistance des bras variables du pont varie suivant la position du chariot *ch* ; lorsque celui-ci avance de 1 millimètre sur la règle graduée *Cr* qui le supporte, il diminue la résistance du bras correspondant du pont de  $\frac{0,7642}{1000}$  ohm, soit plus simplement de  $\frac{1}{1300}$  ohm.

Pour plus de précision encore, le mouvement du chariot peut ne s'effectuer qu'à l'aide d'une vis micrométrique à laquelle est adapté un vernier donnant le  $\frac{1}{20}$  de millimètre. On peut ainsi faire varier la résistance dans le thermomètre électrique de  $\frac{1}{26000}$  ohm.

Le courant venant de la pile passe par l'inverseur que l'on voit au centre de la planche photographique ci-jointe, et se bifurque. D'une part, il entre dans les bras variables du pont en *D*, passe dans le thermomètre, circule ou non dans les résistances *l*, *m*, *n*, parcourt le fil de maillechort *d*, arrive en *c*, traverse ou non les résistances *k*, *j*, *i*, passe dans la boîte *R* et retourne à la pile. D'autre part, il circule dans les bras égaux, traverse les résistances égales *u* et *u'* pour rejoindre son autre branche et retourner à la pile.

Les pôles du galvanomètre s'insèrent l'un en *A* au point de contact des deux bras égaux, l'autre au point de jonction mobile des deux bras variables, le chariot *ch*.

Le galvanomètre dont nous nous sommes servi est un galvanomètre de Thompson; il est à suspension monofilaire en quartz et à miroir. Sa résistance, lorsqu'il est déshunté, est de 6000 ohms. Les déviations s'apprécient à l'aide d'une règle graduée et d'une lunette.

Le courant qui actionne l'appareil est donné par deux accumulateurs dont la constance est assurée par une résistance de 400 ohms placée dans leur circuit. Cette résistance a également pour résultat de protéger l'ensemble des appareils contre les effets d'un court circuit accidentel. L'observateur peut à son gré ouvrir, par un interrupteur placé à sa portée, le circuit du galvanomètre shunté ou non, inverser le courant des accumulateurs ou inverser le sens du courant dans les bras égaux du pont.

### § III. — *Sensibilité de l'appareil.*

L'appareil que nous venons de décrire présente-t-il une sensibilité suffisante pour remplir le but que nous nous proposons? En supposant qu'il perçoive les plus minimes variations de température, le thermomètre électrique les renseigne-t-il lorsqu'elles sont aussi brusques et aussi passagères que peut l'être éventuellement la modification produite par une excitation parcourant un nerf? De ce qu'un thermomètre à mercure, en effet, donne le  $\frac{1}{50}$  de degré centigrade, lorsqu'une cause d'échauffement permanente l'affecte, lorsqu'il doit indiquer la température constante d'un milieu, il ne s'ensuit pas qu'il traduise des variations brusques et passagères de  $\frac{1}{50}$  de degré.

Au contraire, l'impressionnabilité du thermomètre électrique est si grande qu'il suffit d'en approcher la main pour déterminer la déviation immédiate du galvanomètre dans le sens de l'échauffement; il en est de même lorsqu'on applique l'instrument sur le front, par exemple, et qu'on fait contracter les muscles peauciers.

Inversement, la ligature d'un doigt mis en rapport avec l'instrument se traduit par un mouvement instantané du galvanomètre dans le sens d'un refroidissement.

Nous n'indiquons ces essais que pour mémoire; plus décisive est l'expérience suivante, qui permet non seulement de constater, mais encore de calculer la sensibilité du thermomètre électrique.

Elle est basée sur ce principe que le courant électrique chauffe le circuit dans lequel il passe, échauffement que les lois de Joule permettent de déterminer avec la plus grande précision.

Nous prenons un fil de cuivre assez fin, de  $\frac{1}{40}$  de millimètre de diamètre, de faible résistance (0<sup>ω</sup>,05), dont les variations thermiques seront à priori minimales; nous le replions en spirale, de façon à



pouvoir y faire passer un courant électrique, sans déterminer de phénomènes d'induction dans son voisinage, et le mettons en rapport avec un thermomètre d'une résistance de 9 ohms, dont il est séparé par une fine plaque de mica. L'ensemble de ce dispositif est enveloppé d'une forte couche d'ouate qui le met à l'abri des influences thermiques extérieures.

Nous lançons dans le circuit le courant d'une pile Daniell ; instantanément le galvanomètre dévie de plus de 10 divisions.

Cette déviation n'est pas due à une dérivation du courant de la pile dans le circuit galvanométrique, mais bien à l'échauffement de la spirale et du thermomètre. S'il n'en était pas ainsi, le renversement du courant dans la spirale devrait être suivi d'une déviation galvanométrique inverse de la précédente. Ceci ne se produit pas : quel que soit le sens du courant, le galvanomètre dévie dans une même direction, qui est celle de l'échauffement.

Pour compléter l'expérience, nous intercalons entre la pile et la spirale un rhéostat dont nous pouvons faire varier la résistance sans interrompre le courant.

Nous constatons alors que :

1° Une fermeture, même passagère, du courant est décelée par le galvanomètre ;

2° La déviation diminue d'intensité à mesure que l'on intercale de plus fortes résistances dans le circuit ; une variation de résistance, quoique faible ( $1^{\omega}, 5$ ), est exactement traduite au galvanomètre ;

3° La déviation du galvanomètre est rapide ; après intercalation de 4 ohms dans le courant, il se remet en marche 10 secondes après la fermeture du courant et atteint son maximum d'écart en 5 secondes.

Il en résulte :

a) Que le thermomètre électrique est sensible aux plus minimes variations de température des corps au contact desquels il se trouve ;

b) Qu'il les enregistre rapidement, quelque passagères qu'elles soient.

En appliquant les formules de Joule, en tenant compte des diverses conditions de l'expérience, M. L. Gerard a reconnu que l'appareil accusait avec la plus grande netteté une variation de température de la spirale de cuivre égale à  $0^{\circ},0006$  centigrade. Or, comme le poids du thermomètre est de 2 à 4 milligrammes, on conçoit qu'un instrument semblable permette d'apprécier des variations de quantités de chaleur inférieure au  $\frac{1}{100000}$  de calorie.

Mais la sensibilité même de l'appareil expose à des inconvénients. On ne peut expérimenter que dans certaines conditions ; il faut que la température intérieure de la salle où l'on travaille reste sensi-



blement la même pendant toute la durée de l'expérience, que les perturbations du magnétisme terrestre soient minimales; sinon elles déterminent des variations spontanées et inattendues du galvanomètre et rendent toute observation précise impossible.

La sensibilité de la méthode que nous avons suivie a donc des limites pratiques qu'il faut éviter de dépasser. Nous avons obtenu les résultats les meilleurs en nous servant de fils de plomb de 20 à 30  $\mu$  d'épaisseur, coupés dans une lame de plomb de  $\frac{1}{10}$  millimètre de largeur. Des fils de moindre épaisseur fournissent des appareils d'une sensibilité trop grande; exposés aux variations de température du milieu, ils affectent même le galvanomètre de Wiedemann, dont l'inertie est si grande comparativement à celle du Thompson.

#### § IV. — *Résultats obtenus.*

Nous avons pratiqué nos expériences sur le nerf sciatique chez la grenouille et le lapin.

Ce nerf est facilement accessible, sans qu'il faille léser aucun organe important; on le met à nu sans qu'il en résulte d'hémorragie ni de trouble dans l'état général de l'animal; il suffit, pour l'atteindre, d'inciser la peau et de pénétrer dans l'intervalle des muscles de la région postérieure de la cuisse. On peut dénuder le nerf sur une assez grande étendue sans sectionner aucune branche nerveuse importante ni aucun vaisseau.

##### A. — *Expériences sur la grenouille.*

Nous n'insisterons pas sur la préparation du nerf sciatique de la grenouille; disons cependant que pour éviter toute hémorragie, il faut procéder lentement: faire, avant de dénuder le nerf, la ligation des veines qui l'accompagnent; puis le dégager des tissus voisins depuis sa bifurcation au genou jusque dans le petit bassin, sans le tirailler ni le blesser.

Il devient alors facile, en le soulevant légèrement, de glisser en dessous de lui le thermomètre en forme de palette que nous avons décrit plus haut; on a soin de placer le nerf exactement en rapport avec le fil de plomb explorateur. Dans nos premières expériences sur la grenouille, nous nous sommes servi d'un thermomètre en forme de L, à bâtis de mica; son emploi présentait certaines difficultés. Nous glissions sous le nerf une coulisse de liège longue de 2 centimètres, large de 7 à 8 millimètres, et pourvue d'une rainure dans laquelle nous introduisions le nerf. Le thermomètre était supporté par une tige de plomb flexible qui permettait de l'orienter dans

toutes les directions; après l'avoir superposé à la plaque de liège, on assurait le contact du nerf en le fixant au thermomètre à l'aide de cordonnets de soie. Nous avons abandonné ce dispositif qui, dans certains cas, exposait le nerf à des tiraillements.

En opérant avec précaution, il est possible de placer le thermomètre sans déterminer aucune excitation du nerf, sans voir se produire aucune contraction de la patte. Dans ce dispositif, le nerf fait saillie sur la coulisse de liège ou sur le thermomètre en palette; ils le séparent des muscles sous-jacents et en écartent les muscles latéraux. Le thermomètre est donc protégé *dans la limite du possible* contre l'influence thermique des muscles voisins.

La grenouille ainsi préparée est enfermée dans une chambre humide de verre ou de bois, de façon à éviter toute évaporation du nerf. Une ouverture convenablement disposée laisse passer les extrémités des membres postérieurs; il est possible alors d'exciter directement l'animal et d'observer les moindres mouvements des pattes. En outre, le couvercle de la chambre de bois est percé d'une fenêtre qui laisse passer la lumière et permet d'examiner à tout moment l'état de l'animal et la disposition des parties.

Les précautions les plus minutieuses sont prises pour éviter le déplacement de la grenouille et pour empêcher les radiations calorifiques extérieures d'agir sur le thermomètre; la chambre de verre est recouverte d'un voile noir percé seulement de quelques étroites ouvertures; la fenêtre de la chambre de bois est fermée par une écuelle de verre remplie d'une solution concentrée d'alun qui arrête les rayons thermogènes et ne laisse passer que les rayons lumineux. Toute ouverture, tout interstice est soigneusement bouché à l'aide d'ouate, tels par exemple les trous forés dans les parois pour donner passage aux conducteurs allant au thermomètre ou à l'excitateur électrique dans les expériences de contrôle dans lesquelles nous avons employé celui-ci.

Avant de mettre le thermomètre en rapport avec le nerf, il faut avoir soin d'équilibrer l'appareil à la température ambiante. De cette façon, on ramène plus facilement le galvanomètre au zéro, lorsqu'on ferme le courant après avoir terminé la préparation de l'expérience. On sait, en effet, que la température de la grenouille est plus élevée de 1 degré environ que celle du milieu ambiant; avant de passer à l'excitation de l'animal, il faudra donc compenser la variation de la résistance du thermomètre qui en résulte, opération que la disposition du pont rend aisée. Il suffit d'augmenter avec prudence la résistance intercalée et de déshunter progressivement le galvanomètre pour obtenir rapidement un équilibre satisfaisant.

Cependant il arrive qu'on ne parvienne pas à obtenir à ce

moment une stabilité convenable du miroir; l'échelle se déplace continuellement, par suite soit de variations brusques et continues du magnétisme terrestre, soit des modifications de température de la salle dans laquelle on opère.

Dans ces conditions, il vaut mieux abandonner l'expérience; les résultats obtenus ne peuvent être que suspects.

Dans les cas où le galvanomètre, complètement déshunté, est arrivé au repos, on excite le nerf sciatique soit directement, soit indirectement: directement, par le pincement de la patte mise en rapport avec le galvanomètre, par la section des doigts ou la cautérisation des ongles; on lance de cette façon dans le nerf des excitations centripètes suivies ou non de réactions centrifuges; indirectement, par l'excitation douloureuse de l'autre patte ou du tronc, par la production d'excitations auditives ou visuelles, par exemple en faisant passer rapidement la grenouille de la lumière dans l'obscurité ou inversement. On détermine ainsi des tentatives de fuite qui se traduisent par des conductions centrifuges dans le nerf sciatique interrogé.

La durée de chacune des expériences doit être très courte pour ne pas fatiguer l'animal et avoir toute certitude relativement à l'intégrité du nerf. Nous n'avons tenu compte que des expériences dans lesquelles l'excitation mécanique du nerf, à la fin de l'expérience, donnait la preuve manifeste de la persistance de sa vitalité.

Dans ces conditions, nous avons constaté :

1° Que l'excitation sensible non suivie de réaction centrifuge ne détermine pas de déviation du galvanomètre ;

2° Que lorsque l'excitation est suivie de réaction musculaire, il peut se produire, dans le cas où l'isolement thermique de l'appareil placé près des masses musculaires n'est pas assuré complètement, une déviation du galvanomètre proportionnelle à l'intensité du mouvement de l'animal.

Dans ce second cas, est-il bien certain que l'oscillation galvanométrique soit due à l'influence de la chaleur dégagée par la contraction des muscles voisins?

Il est facile de démontrer que c'est uniquement de ce dernier facteur qu'elle relève.

Rappelons tout d'abord le pouvoir thermogène si intense de l'appareil musculaire. Son influence sur un thermomètre incomplètement isolé au point de vue thermique, doit fatalement se faire sentir. Ce qui le prouve du reste, c'est que la déviation galvanométrique est proportionnelle à l'intensité du mouvement, qu'elle se produit même, aussitôt que la grenouille fait un mouvement, lorsque le thermomètre n'est pas mis en rapport avec le nerf, mais placé dans son voisinage.



Il était intéressant dans ces conditions de noter ce qui se produit chez la grenouille curarisée. Dans ce cas, pourvu que l'intoxication fût suffisante pour empêcher tout mouvement, jamais, par quelque excitation que ce fût, nous n'avons vu dévier le galvanomètre.

Nous avons donc, semble-t-il, dans l'emploi du curare, un moyen fidèle d'éliminer l'influence musculaire; nous croyons cependant devoir faire quelques réserves à ce sujet.

Dans la pratique courante, on admet comme démontré définitivement que le curare n'agit que sur les plaques terminales des muscles, n'affecte pas la transmission des excitations centripètes et centrifuges. Il en est réellement ainsi à faible dose et au début de l'injection; mais à forte dose, les effets du curare se généralisent; d'après Lange, il affecterait alors les appareils terminaux sensibles, et les centres médullaires réflexes. Or, il est impossible d'apprécier à priori la quantité de curare suffisante pour déterminer la seule paralysie des plaques terminales motrices chez la grenouille. Il nous suffit que des doutes puissent s'élever à cet égard, pour que nous ne croyions pas devoir considérer comme absolument décisives les observations faites sur la grenouille curarisée.

Il résulte de ce qui précède que tout au moins la transmission centripète d'une excitation ne détermine pas d'augmentation ou de diminution de température appréciable dans le nerf.

Comme il est certain que la transmission centripète et la transmission centrifuge se font par le même mécanisme (expérience de Vulpian); comme, d'autre part, le thermomètre électrique décèle des variations infimes de température, et que celles-ci sont d'autant moindres que son isolement thermique est mieux assuré par rapport aux muscles voisins, nous concluons de nos recherches que chez la grenouille la transmission d'une excitation motrice ou sensible ne s'accompagne d'aucun changement appréciable dans la température du nerf.

Un mot encore à propos de l'excitation électrique. Pour pouvoir provoquer des excitations douloureuses intenses, nous avons cru, au début de nos recherches, pouvoir employer la bobine de du Bois Reymond. Nous placions l'excitateur le plus loin possible du nerf, par exemple sur la tête ou sur les membres antérieurs; invariablement l'excitation était suivie d'une déviation du galvanomètre.

Celle-ci ne dépend pas d'un changement de température du nerf; car elle varie de sens suivant la direction du courant allant de la pile à la bobine primaire, et par suite elle simule tantôt un échauffement, tantôt un refroidissement du nerf. Elle s'observe même lorsque l'excitateur ne porte pas sur la grenouille, mais que ses deux pôles, placés à quelque distance de l'animal, sont réunis

par un circuit métallique. Il est facile de donner l'explication de ces faits ; le courant parti de la bobine secondaire pour se rendre à l'excitateur, détermine dans les gros conducteurs de cuivre du thermomètre la production de courants induits, qui affectent le galvanomètre. Il semble étrange, à première vue, qu'il puisse en être ainsi lorsqu'on emploie un appareil à courants alternatifs ; mais la bobine de du Bois Reymond ne donne pas de courants alternatifs d'ouverture et de fermeture rigoureusement égaux ; la somme des courants de fermeture est prédominante ; de là la production dans les conducteurs voisins d'un courant induit dont le sens est déterminé par celui du courant de la pile.

Nous avons donc renoncé à l'excitation électrique de l'animal et à plus forte raison à l'excitation électrique immédiate du nerf.

### B. *Expériences sur le lapin.*

Nous nous étions attendu à rencontrer dans nos expériences sur le lapin de grandes difficultés ; nous avons cru qu'il nous aurait été difficile d'obtenir une stabilité suffisante du galvanomètre pour faire des observations satisfaisantes. Le volume considérable des masses musculaires qui environnent le nerf sciatique, le voisinage de vaisseaux importants, la variabilité de température que nous supposions devoir en être la conséquence, nous faisaient redouter un échec absolu. Il n'en a pas été ainsi ; grâce à des précautions bien simples, les expériences sur le lapin nous ont donné des résultats plus affirmatifs et plus nets encore que celles qui avaient été antérieurement pratiquées sur la grenouille.

Le thermomètre, nous l'avons dit précédemment, présentait des dimensions supérieures à celui que nous avons employé dans notre première série de recherches.

Grâce à sa forme prismatique, en palette, il était aisé de le glisser sous le nerf sans tirailler ni blesser celui-ci.

La préparation elle-même n'offre aucune difficulté. On introduit d'abord dans la veine jugulaire externe une canule destinée à donner passage à une injection de curare au moment voulu ; on fait la trachéotomie pour pouvoir employer la respiration artificielle.

Le lapin est ensuite placé sur le ventre, solidement fixé sur le « Brett », que nous avons décrit dans un précédent travail (1). Après avoir coupé les poils avec soin, on incise la peau de la por-

(1) DE BOECK, *Die Reizung des Kaninchenrückenmarkes mit der Nadel*. (Travail fait à l'Institut de physiologie de Leipzig. *Archiv für Anatomie und Physiologie*, 1888.)

tion postérieure de la cuisse depuis le creux poplité jusqu'à la partie inférieure de la fesse ; on arrête avec soin toute hémorragie ; la section de l'aponévrose et l'écartement des muscles de la région postérieure de la cuisse à l'aide d'un instrument mousse, suffisent pour mettre à nu, au fond de la gouttière ainsi formée, le sciatique étalé le long du fémur ; on dénude le nerf, et pour rendre plus facile le placement du thermomètre, on sectionne, s'il le faut, les faisceaux inférieurs du muscle grand fessier. Lorsque les plus petites hémorragies sont arrêtées, que la plaie est soigneusement nettoyée, on glisse sous le nerf une lame de gutta-percha laminée, de 4 à 5 centimètres de largeur et de 10 centimètres de longueur ; le nerf se trouve alors séparé des muscles voisins et du fémur par l'interposition de cette lame de gutta ; on complète l'isolement thermique par des bourrelets d'ouate.

Il ne reste plus qu'à placer le thermomètre ; en soulevant délicatement le nerf sans le tirailler, on réussit à le placer dans la gouttière du thermomètre et à l'y fixer sans qu'il faille recourir à aucune espèce de ligature ou à aucun autre moyen de fixation.

On replie alors le gutta au-dessus du nerf, on fixe à l'aide d'un lien les deux lamelles supérieure et inférieure autour des deux conducteurs de cuivre du thermomètre, puis on ramène la peau et on recouvre toute la préparation d'une épaisse couche d'ouate.

Le nerf et l'appareil récepteur sont désormais enfermés dans une chambre hermétiquement close, protégés *dans la limite du possible* contre l'influence thermique des muscles et des organes voisins, et absolument à l'abri des variations de température extérieures à l'animal.

Il ne reste plus qu'à relier le thermomètre au pont. Il faut avoir soin, comme dans les recherches faites sur la grenouille, de déterminer à l'avance et avec exactitude la résistance du thermomètre ; on rend ainsi plus faciles les manipulations au moment de l'expérience ; en déshuntant progressivement le galvanomètre, et grâce aux dispositions du pont, on parvient rapidement à obtenir l'équilibre, sauf dans les cas de perturbation magnétique.

Nous n'avons tenu compte d'une expérience que lorsque, en la terminant, nous constatons la persistance absolue de l'excitabilité du nerf et son contact parfait avec la partie active du thermomètre.

Un premier phénomène que l'on observe, avant toute excitation, c'est la stabilité vraiment étonnante de la température du nerf lorsque l'animal est au repos complet ; la fixité du galvanomètre est plus grande encore que chez la grenouille. L'animal à sang chaud possède une température propre, plus régulière et plus stable que l'animal à sang froid dont les appareils de régulation n'exis-



tent pas ou sont rudimentaires. La valeur des expériences faites sur le lapin nous paraît donc plus grande que celle des expériences faites sur la grenouille.

Voyons maintenant quels sont les effets de la transmission dans le nerf.

L'excitation du sciatique mis en rapport avec le thermomètre, la piqure, la ligature de la patte, la section de la peau, la section des doigts ne déterminent pas de déviation galvanométrique perceptible, à moins qu'il ne se produise un mouvement musculaire prononcé dans la patte. Il en est de même pour toute excitation pratiquée sur d'autres parties du corps, en dehors du territoire innervé par le nerf en expérience. Au contraire, lorsqu'il y a contraction de la patte, le galvanomètre dévie, mais seulement lorsque la contraction est étendue et assez intense. Lorsque la contraction de la patte est faible, le galvanomètre reste immobile.

Il en résulte que les excitations sensibles et centrifuges du nerf ne s'accompagnent pas de modifications de sa température.

De même que dans les expériences précédentes, cette conclusion est formelle en ce qui concerne la transmission d'une excitation sensible; mais elle laisse place au doute lorsqu'il s'agit de la transmission d'une excitation musculaire. Ne devrions-nous pas conclure de nos expériences, au contraire, que la variation de température déterminée par la transmission dans le nerf d'une excitation musculaire intense est seule enregistrée par notre appareil, et qu'il est impuissant à ressentir les variations de température plus faibles, consécutives à une excitation minime?

Pour éclaircir ce point, nous avons eu recours au curare. Nous n'oublions pas les réserves que nous avons faites au sujet de l'emploi de cet agent, mais nous ferons remarquer que ces inconvénients sont moindres chez le lapin, où il est plus facile de graduer les doses injectées.

Lorsqu'au cours d'une expérience on pratique une première injection de curare, on constate que l'effet immédiat est de jeter la perturbation dans la calorification; le galvanomètre, dont la fixité était antérieurement si grande, se met à dévier lentement et progressivement dans le sens d'un refroidissement, quelque soin qu'on ait pris d'ailleurs de recouvrir l'animal de couvertures épaisses; la respiration artificielle intervient évidemment comme un facteur de refroidissement graduel; toutefois la déviation galvanométrique n'est pas assez rapide pour empêcher toute observation; la régularité des lectures descendantes permet de les suivre nettement. Que l'on vienne alors à irriter le nerf, l'excitation, quelque intense qu'elle soit, ne modifie en rien l'allure du galvanomètre.

D'autre part, faisant exception à la règle que nous nous étions

posée et voulant pousser l'excitation à l'extrême, nous avons, dans une expérience unique, sectionné chez l'animal curarisé la moelle cervicale et en avons électrisé le bout inférieur. L'observation galvanométrique n'a donné que des résultats négatifs, tant au moment de la section qu'au moment de l'électrisation.

Nous concluons donc que chez le lapin, comme chez la grenouille, la transmission d'une excitation normale, centripète ou centrifuge, dans un nerf normal, *in situ*, ne s'accompagne d'aucune variation appréciable de température, dans les limites indiquées de 0°,0006 centigrade.

---

## CHAPITRE IV.

### APPLICATIONS ET CONCLUSIONS.

Les constatations qui précèdent n'ont-elles d'autre valeur que la simple détermination de la fixité thermique du nerf? N'ont-elles pas une portée plus grande? Ne donnent-elles aucun renseignement sur la manière dont se fait la transmission de l'excitation, ni sur la nature de cette transmission?

Des théories sans nombre ont cherché à expliquer les phénomènes intimes du fonctionnement du nerf. Elles se partagent en deux groupes : les unes ont admis la nature chimique, d'autres la modalité physique exclusive de la transmission nerveuse. Passons-les rapidement en revue.

I. *La transmission de l'excitation est de nature chimique.* — Dans cette hypothèse, le cylindre-axe est formé par une substance d'une instabilité chimique excessive, explosive en un mot, qui se désagrègerait de place en place, sous l'influence de la plus légère excitation. La transmission de l'excitation serait analogue à la déflagration d'une traînée de poudre, et le cylindre-axe devrait être considéré comme formé de segments successifs, s'influençant chimiquement.

Hermann, en formulant cette théorie (1867), a immédiatement prévu l'objection fondamentale qui peut lui être faite. Lors de la déflagration, la poudre se décompose dans sa totalité, dégage toute son énergie en une fois. Il n'en est pas de même du nerf qui, après plusieurs transmissions fréquemment répétées, n'a perdu aucune de ses propriétés. Pour en donner l'explication, Hermann doit recourir à de nouvelles hypothèses, sur lesquelles nous n'insisterons pas; l'auteur lui-même en reconnaissait la fragilité.

Dans cette théorie, la transmission d'une excitation est nécessairement accompagnée de modifications chimiques du conducteur, d'usure de matériaux, soit que l'on ait affaire à une oxydation, soit, comme Hermann l'admet, à une simple dissociation, analogue à la déshydratation, par exemple. Cette théorie gagnerait en vraisemblance, s'il était démontré que le travail détermine des variations de composition du nerf, des modifications de sa réaction ou, tout au moins, que le nerf est incapable de transmettre un trop grand nombre d'excitations successives, qu'il se fatigue, qu'après un travail limité il ne renferme plus de matériaux disponibles.

Passons en revue ces différents points.



1° Comme pour le muscle, la composition du nerf se modifie-t-elle par le travail ?

a) Étudier la réaction du nerf à l'état de repos et après un travail intense paraissait être le moyen le plus simple de résoudre ce problème. Ranke, Funke, Liebreich, Heidenhain et Gscheidlen, qui l'ont entrepris, sont arrivés à des résultats contradictoires; ils n'ont réussi qu'à montrer les difficultés de la question, encore ouverte actuellement;

b) S'il était démontré que le nerf absorbe de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique, qu'il respire comme le muscle, que le travail augmente ou diminue la quantité d'eau qu'il renferme, le problème du chimisme nerveux serait en bonne voie d'être résolu.

Ranke a entrepris de l'étudier sur cette base; mais ses recherches sur la respiration du système nerveux, sur la quantité d'eau qu'il renferme ne s'appliquent pas au nerf lui-même et sont peu concluantes;

c) Restent les recherches entreprises pour déterminer, par l'analyse des urines, le taux de l'oxydation dans le système nerveux. Je ne relèverai pas leur insuffisance, les erreurs et les contradictions dont elles fourmillent; en aucun cas je n'oserais en tirer des conclusions sur le fonctionnement des conducteurs nerveux; les modifications de qualité ou de quantité que la transmission dans les cordons nerveux imprime aux excréta, sont noyées dans celles que détermine le travail de la substance grise si richement vascularisée.

En résumé, nous ne possédons aucune preuve à l'appui de cette hypothèse, que la composition chimique du nerf varierait lorsqu'il travaille. Il serait tout aussi plausible de conclure à la stabilité des composants du cylindre-axe.

2° Il est bien démontré aujourd'hui que le nerf, en tant qu'intermédiaire entre les appareils qu'il relie, ne se fatigue pas.

Certains nerfs travaillent pendant toute la durée de l'état de veille; tels sont les nerfs qui commandent aux muscles de l'équilibre, tels sont le nerf optique, le nerf acoustique; des excitations continuelles viennent frapper leurs appareils terminaux périphériques, qu'elles se transforment ou non en perceptions conscientes.

D'autre part, Wedensky, Maschek, Bowditch, Szana ont démontré expérimentalement la difficulté, nous dirons même l'impossibilité d'épuiser le nerf. Il fonctionne encore après avoir, sans interruption, donné passage à des excitations électriques pendant au delà de six heures. Comment concilier ces faits avec l'idée d'une consommation chimique de quelque importance, alors surtout que l'on expérimente sur des nerfs privés de l'afflux sanguin ?

Le nerf ne se fatigue donc point, et le travail du nerf ne déter-

mine pas de modifications appréciables de sa substance, de variations perceptibles dans sa composition chimique.

3° Il est une preuve directe.

Tout travail chimique, que ce soit une oxydation ou une déshydratation, tout processus de décomposition ou de reconstitution s'accompagne d'un dégagement ou d'une absorption de chaleur : pas de modification chimique possible sans variation de la température locale.

Si l'on admet, comme nous croyons l'avoir démontré, que la transmission nerveuse ne comporte ni échauffement, ni refroidissement appréciables, comment croire encore à l'existence d'un processus chimique dans cette transmission ?

On le voit, de quelque côté que nous nous tournions, nous arrivons toujours à cette même conclusion, que l'état chimique du nerf ne varie pas par le travail ; que la transmission d'une excitation ne peut être identifiée à la déflagration d'une traînée de poudre, comme le voulait Hermann ; qu'elle ne s'accompagne ni d'une combustion, ni d'une recomposition de produits instables, comme le prétend Wundt.

II. *La transmission de l'excitation obéit-elle à des lois physiques connues?* — Nous laissons de côté les théories anciennes ; il en est qui identifiaient le nerf à un cordon de sonnette ; d'autres qui le comparaient à un tube rempli d'un principe spécial, d'un fluide élastique, se transportant d'un bout à l'autre du tube ; d'après quelques auteurs (Milne-Edwards), l'excitation se transmettrait à la manière d'un choc dans un jeu de billes d'ivoire accolées et dont la dernière seule manifeste le mouvement imprimé à tout le système.

Nous passons à l'examen des théories électriques, si discutées et si ardemment défendues.

On se plaît vulgairement à comparer le nerf au conducteur qui réunit deux stations électriques, et à identifier la force nerveuse à celle qui, à de grandes distances et avec instantanéité, détermine la vibration de la plaque du téléphone ou actionne le stylet enregistreur du télégraphe.

Rien n'est plus faux, et, comme le fait observer Hermann, le mode de transmission de l'excitation dans le nerf et le mode de transmission d'une dépêche télégraphique n'ont d'analogie qu'en un seul point, qu'ils sont basés tous deux sur la transmission de l'énergie par un conducteur fixe et immobile. Quels que soient les phénomènes électriques que l'on puisse observer dans le nerf, l'identification de la transmission de la force nerveuse avec un courant électrique ne résiste pas à la critique.

Les vitesses de transmission sont entièrement différentes ; le transport de l'électricité dans un conducteur métallique s'opère avec une vitesse qui peut atteindre des lieues à la seconde ; tandis que l'excitation ne se propage dans le nerf qu'avec une vitesse de 30 à 50 mètres par seconde, et varie dans l'étendue d'un même nerf ; elle augmente à mesure que l'excitation se rapproche de la périphérie.

Enfin, la ligature du nerf arrête l'excitation et laisse passer le courant électrique.

A ces deux objections, déjà anciennes, nous pouvons désormais en ajouter une troisième : le courant électrique chauffe le circuit qu'il parcourt, et cet échauffement est d'autant plus considérable que la résistance du circuit est plus grande. Or, la résistance du nerf est énorme, douze millions et demi de fois plus grande que celle du mercure (Hermann), dont la résistance est elle-même beaucoup plus forte que celle des métaux communément employés comme conducteurs, le cuivre par exemple. S'il y avait identité entre les deux modes de transmission, le nerf s'échaufferait ; la variation de température qu'il subirait serait pour le moins perceptible au thermomètre électrique. Nous venons de prouver qu'elle ne l'est pas.

Il n'y a donc pas lieu d'identifier la transmission d'une excitation nerveuse avec la transmission du courant électrique.

Du Bois Reymond considère le nerf comme formé d'une série de molécules dipolaires, plongées dans un milieu indifférent et imparfaitement conducteur. Chaque molécule est double et est constituée par une portion négative et une portion positive. En prêtant à ces molécules des orientations différentes, suivant les circonstances, du Bois Reymond explique les constatations qu'il a faites dans ses remarquables études sur la physiologie du nerf. La transmission d'une excitation équivaldrait à une modification dans l'orientation des molécules composant le nerf.

Si ingénieuse que soit cette manière de voir, on ne doit pas oublier qu'elle s'appuie sur une hypothèse dont la réalité n'a pas été démontrée : l'existence dans le nerf *en repos* d'un courant électrique. Jusqu'ici cette démonstration de l'existence d'un courant dans un nerf en repos et intact n'a pas été faite. Hermann conclut de ses recherches que ce courant n'existe pas et que les observations faites par du Bois Reymond sont dues aux altérations inhérentes à la section du nerf.

Certains auteurs, d'autre part, ont cru trouver dans l'électrotonus une explication des phénomènes déterminés par l'irritation ; cette hypothèse ne peut s'appliquer qu'à l'excitation électrique du nerf, les phénomènes électrotoniques ne s'observant par aucun autre mode d'excitation.



Toutes les théories proposées pour expliquer les phénomènes intimes de la transmission dans le nerf rencontrent donc des objections qui les rendent inacceptables. Faut-il en conclure que la force nerveuse n'est pas de nature électrique ? Est-ce à dire que les recherches si précieuses de du Bois Reymond, de ses élèves ou de ses contradicteurs n'ont aucune portée, que la transmission d'une excitation ne s'accompagne pas comme d'un phénomène essentiel de modifications électriques propagées de place en place le long du nerf ?

Non pas : il est d'autres modes de transmission électrique que le passage d'un courant circulant avec une vitesse énorme dans un circuit ininterrompu et homogène ; la transmission électrique pourrait reposer sur une modification de la tension superficielle des éléments juxtaposés ; elle pourrait être de nature électro-capillaire. Nous allons nous expliquer.

On connaît l'expérience de Lippmann sur laquelle est basée la construction de l'électromètre qui porte son nom et qui est d'un usage courant en physiologie.

Un vase de verre renferme une certaine quantité de mercure et d'eau acidulée. Dans celle-ci vient se terminer l'extrémité effilée d'un entonnoir rempli de mercure qui s'en échappe goutte à goutte ; chacune des masses de mercure est réunie à l'un des pôles du galvanomètre. Chaque fois qu'une goutte de mercure s'échappe de l'entonnoir et vient tomber sur la surface du mercure inférieur et la déforme, le galvanomètre dévie.

Cette expérience et d'autres semblables démontrent que toute déformation de la surface d'un liquide, en d'autres termes que toute variation de sa tension superficielle s'accompagne d'une modification de son état électrique.

Se basant sur ce principe, d'Arsonval a construit (1886) un nerf artificiel qui présente quelques-unes des propriétés électriques du nerf. « Je prends, dit-il, un tube de verre de 1 à 2 millimètres de » diamètre intérieur, et le remplis avec des gouttes de mercure » alternant avec des gouttes d'eau acidulée ; je forme ainsi un » conducteur composé de cylindres alternativement formés de » mercure et d'eau acidulée, constituant autant d'électromètres » capillaires de Lippmann qu'il y a de cylindres mercuriels.

» Les deux extrémités du tube sont fermées par des membranes » de caoutchouc, et le tube porte en outre latéralement des tubu- » lures permettant de mettre des conducteurs extérieurs en contact » avec le liquide remplissant l'intérieur. Cela posé, si l'on vient à » ébranler une des membranes de caoutchouc, le tube est parcouru » par une onde liquide qui se propage avec la vitesse particulière » au système. On constate en même temps une onde électrique

» qui se propage avec la même vitesse que l'onde liquide. Le phénomène est aisé à comprendre: en effet, en poussant la membrane de caoutchouc, on déforme d'abord la surface de contact des deux premiers cylindres (mercure, eau acidulée); cette déformation se propage aux cylindres suivants avec la vitesse propre au liquide. Mais, d'autre part, comme chacune de ces déformations s'accompagne de la production d'un courant électrique (phénomène de Lippmann ou variation de tension superficielle), le tube est parcouru par une onde électrique qui a nécessairement la même vitesse que l'onde liquide. La vitesse de propagation de l'électricité, dans ce cas, paraît donc être aussi faible que celle de l'onde liquide. Si l'on explore électriquement le tube dans sa longueur, il présentera tous les phénomènes de l'oscillation négative du nerf.

» A plusieurs reprises, » continue d'Arsonval, « j'ai appelé l'attention sur l'importance du phénomène de Lippmann en physiologie. C'est par lui que j'ai expliqué l'oscillation négative du muscle et la décharge des poissons électriques. L'expérience que je viens de rapporter va me permettre de faire rentrer l'oscillation négative du nerf dans la même explication. Le nerf n'est en effet, comme l'a montré M. Ranvier, qu'un conducteur composé de cellules placées bout à bout et composées comme toute cellule d'une partie irritable (le protoplasme) et de parties non irritables ou liquides, qui présentent des surfaces de séparation où peuvent naître des variations de tension superficielle, comme dans le tube que j'ai décrit ci-dessus. Cette irritation peut se propager de cellule en cellule et doit nécessairement s'accompagner d'une onde électrique ayant la même vitesse qu'elle dans toute la longueur du nerf.

» De même on s'explique aisément pourquoi une simple ligature ou l'écrasement d'un nerf, laissant intacte sa conductibilité électrique, abolisse néanmoins sa conductibilité nerveuse. »

Comme on le voit, d'Arsonval soupçonne la nature électro-capillaire de la transmission dans le nerf; mais, admettant les idées de Ranvier sur la constitution du cylindre-axe, il ne pouvait trouver dans l'anatomie la justification de son hypothèse. L'assimilation qu'il établit entre son schéma et le nerf tel que le comprend Ranvier, est impossible. Pour Ranvier, le cylindre-axe est continu, homogène, et à moins que d'Arsonval ne fasse intervenir dans la transmission d'une excitation d'autres parties de la fibre nerveuse que le cylindre-axe, nous ne comprenons pas l'assimilation à établir.

Le schéma de d'Arsonval gagne en réalité, si l'on admet que le nerf est constitué tel que le décrit Engelmann; le cylindre-axe

serait interrompu à chaque étranglement de Ranvier; l'excitation se transmettrait de cellule en cellule, ce qui expliquerait sa lenteur.

Mais cette discontinuité du cylindre-axe n'existe pas; il parcourt la fibre nerveuse de l'une à l'autre de ses extrémités, et, comme Demoor l'a démontré et comme nous l'admettons, présente au niveau de l'étranglement une composition spéciale : « Le cylindre-axe, dit Demoor, est un système capillaire; sa partie périphérique est plus dense que sa partie centrale. L'enveloppe constitue un tube à section, fort variable, dont les calibres moindres correspondent en général au niveau des étranglements de Ranvier. La région capillaire centrale est occupée par des substances liquides ou semi-liquides. Les caractères chimiques et physiques de ces substances sont essentiellement différents suivant qu'il s'agit de régions interannulaires à calibre plus large et à longueur plus grande, ou des régions intermédiaires rétrécies correspondant aux étranglements ».

Faisons abstraction des variations de calibre du cylindre-axe; nous constatons qu'à première vue le nerf schématique construit par d'Arsonval correspond essentiellement au nerf naturel. Il en diffère en un point. Le nerf schématique de d'Arsonval est formé de substances bonnes conductrices de l'électricité, du mercure, de l'eau acidulée. Or, rien ne permet de supposer que les disques successifs de matières albuminoïdes et graisseuses superposés dans le cylindre-axe présentent une conductibilité électrique comparable à celle du mercure et de l'eau acidulée.

J'ai donc cherché, sur les indications de M. L. Gerard, à modifier le nerf schématique de d'Arsonval en associant des corps mauvais conducteurs; je me suis servi d'huile d'olive et d'un mélange d'alcool et d'eau ayant exactement la même densité que l'huile. Dans un tube de verre de 2 à 5 millimètres, on introduit des disques successifs d'huile et d'eau alcoolisée. Des électrodes en communication avec un galvanomètre de Thompson plongent dans les extrémités du tube bien rempli et fermé des deux côtés par une membrane de gutta-percha. On y introduit un fil de plomb analogue à ceux dont nous nous sommes servi pour construire notre thermomètre électrique; soigneusement isolé au point de vue électrique, le fil était relié au pont de Wheatstone et était destiné à déceler les variations de température qui auraient pu éventuellement se produire dans l'appareil schématique.

L'ensemble du système est soigneusement entouré d'ouate, pour le mettre à l'abri des radiations calorifiques extérieures.

Chaque contact sur les membranes de gutta-percha détermine une variation électrique dans l'état du système, sans produire de modification de température, quelque faible qu'elle soit.



Voilà donc réalisé un mode de transmission schématique qui présente de nombreuses analogies avec celui que nous nous représentons dans le nerf normal.

1° Les substances qui composent ce nerf artificiel sont mauvaises conductrices.

2° Le fonctionnement est d'ordre purement physique et ne s'accompagne ni de décomposition, ni de reconstitution de corps chimiques nouveaux;

3° Le nerf schématique est infatigable;

4° Toute interruption dans la continuité de la colonne liquide en arrête le fonctionnement; cette interruption correspond au fait de la ligature du nerf;

5° Ce système électro-capillaire présente des variations électriques analogues à celles du nerf vivant;

6° Il ne subit aucune variation appréciable de température pendant la transmission.

En résumé, les excitations normales se transmettraient dans le nerf par modification de la tension superficielle des segments hétérogènes successifs qui le composent, et variation corrélative de leur état électrique.

Il était impossible d'admettre cette hypothèse aussi longtemps que l'on considérait le nerf comme un conducteur tendu depuis l'écorce cérébrale jusqu'à l'appareil terminal périphérique, sur le trajet duquel se trouvaient des stations médullaires ou bulbaires, retardant la transmission de l'excitation sans interrompre le conducteur. Elle est rendue plausible non seulement à la suite des constatations faites par Demoor, mais plus encore depuis les travaux de Golgi, de Ramon y Cajal, de Van Gehuchten; le système nerveux serait constitué par des séries d'éléments successifs formés chacun d'une cellule et de son prolongement unique ou de ses prolongements multiples, qui la mettent en relation avec les autres éléments par simple contact, sans continuité histologique.

Nous n'avons pas la prétention de donner la solution d'un tel problème, et nous ne nous faisons pas l'illusion de croire que nous ayons expliqué la nature de l'excitation nerveuse, ni son mode de transmission. Nous avons voulu montrer que la stabilité chimique et thermique que nous admettons pour le cylindre-axe pouvait s'expliquer, qu'elle concorde avec les données que les travaux récents nous fournissent sur l'histologie du système nerveux et en particulier sur la constitution physique du nerf.

## EXPÉRIENCES.

Nous jugeons inutile de donner le détail de chacune de nos expériences; elles sont toutes semblables; on trouvera ici les protocoles :

- 1° D'une expérience sur la grenouille non curarisée;
- 2° D'une expérience sur la grenouille avec excitation électrique et variations dans le sens du courant;
- 3° D'une expérience sur le lapin;
- 4° Des expériences qui ont servi à établir la sensibilité du thermomètre.

I. *Expérience sur la grenouille non curarisée.* — Le thermomètre est mis en rapport avec le nerf sciatique droit; la patte droite est reliée au télégraphe musculaire auquel elle transmet ses moindres mouvements. Section des branches nerveuses collatérales données par le sciatique aux muscles de la cuisse.

- A. 1. Section d'un doigt de la patte gauche. — Mouvement général de l'animal : le galvanomètre passe de 140 à 142.
2. Section d'un autre doigt. — Mouvement des deux pattes. — Rien au galvanomètre.
3. Section d'un autre doigt. — Mouvement des deux pattes. — Rien au galvanomètre.
4. Même opération et même résultat.

- B. 1. Section d'un doigt de la patte droite. — Mouvement des deux pattes. — Rien au galvanomètre.
2. Idem.
3. Idem.
4. Idem.

C. Section de la moelle cervicale. — Tétanos généralisé. — Déviation du galvanomètre d'un degré de l'échelle.

L'expérience est terminée; l'excitation mécanique du nerf démontre la persistance complète de sa vitalité.

L'échauffement du thermomètre donne une augmentation de lectures.

II. *Grenouille curarisée.* — Préparation du nerf sciatique gauche. — Thermomètre de 9 ohms.

Excitation ordinaire à la peau de la tête. — Bobine de du Bois Reymond parcourue par un courant de 2 volts.

La patte gauche est reliée au télégraphe musculaire.

1<sup>re</sup> série d'expériences. — Bobine secondaire à 200.

	Zéro du galvanomètre. —	Déviati par l'excitati —	A la cessati de l'excitati —
1.	140	138	138.5
2.	138.5	137	137.6
3.	141.5	140	140.7
4.	139.5	138.6	139.2
5.	140	138.6	139.2

2<sup>e</sup> série d'expériences. — Interverti à la bobine secondaire les fils qui en partent pour aller à l'excitateur. — Bobine secondaire à 200.

	Zéro du galvanomètre. —	Déviati par l'excitati —	A la cessati de l'excitati —
1.	139	138	138.6
2.	138.5	137.5	138.2
3.	140	139	140
4.	139.5	138.5	139.2
5.	139	138.9	138.6

3<sup>e</sup> série d'expériences. — Interverti à la pile les fils qui en partent pour aller à la bobine primaire. — Bobine secondaire à 200.

	Zéro du galvanomètre. —	Déviati par l'excitati —	A la cessati de l'excitati —
1.	141.5	142.2	141.4
2.	141.2	142	141.1
3.	141	141.9	141
4.	141	141.6	140.6

Bobine secondaire à 50.

5.	141.5	143	141.2
----	-------	-----	-------

REMARQUES. — L'expérience terminée, nous examinons la vitalité du nerf. Pas de contraction musculaire par excitation directe du nerf (bobine secondaire à 200).

Contraction légère par excitation directe des muscles.

III. *Expérience sur le lapin.* — Trachéotomie; préparation de la jugulaire interne. — Thermomètre de 11  $\frac{1}{2}$  ohms. — Nerf sciatique gauche.

A. *Sans curare.* — 1. Les divers modes d'excitation (piqûre de la patte gauche, section des doigts gauches) ne déterminent aucune variation du galvanomètre lorsque l'excitation n'est pas suivie de mouvement.



2. Lorsqu'il y a mouvement, la déviation est proportionnelle à l'intensité du mouvement et à sa généralisation.

3. Les excitations portées sur des parties du corps autres que la patte gauche donnent lieu aux mêmes constatations.

4. La déviation du galvanomètre dans le cas de mouvement se fait dans le sens d'un échauffement, parfois avec refroidissement consécutif lorsqu'il y a déplacement de l'enveloppe ouatée du thermomètre.

*B. Avec curare.* — Injection de curare sous la peau du dos et dans la veine auriculaire; un accident a empêché de faire l'injection dans la jugulaire. L'animal est bien couvert.

1. Descente lente du galvanomètre.

2. Pas de déviation, pas de modification de l'allure du galvanomètre, quelle que soit l'excitation portée sur l'animal.

3. Rien par la section de la moelle cervicale.

4. Rien par l'électrisation de la moelle cervicale.

*C.* Lorsqu'on excite le nerf à l'aide du courant induit interrompu provenant de la bobine de du Bois Reymond, il y a déviation du galvanomètre.

Cette déviation se produit encore lorsqu'on porte l'excitateur sur les tissus voisins du nerf ou sur un conducteur métallique placé entre les deux pattes.

*IV. Sensibilité de l'appareil.* — *A.* Thermomètre de 9 ohms. Galvanomètre de Thompson déshunté. Un fil de cuivre de  $\frac{40}{100}$  millimètre, replié plusieurs fois sur lui-même en forme de spirale, est mis en contact avec le thermomètre dont il est séparé par une lame de mica très mince. Il est parcouru par le courant provenant d'une pile Daniell, et qui a passé ou non par une résistance variable.

Le thermomètre et la spirale sont soustraits aux variations de la température extérieure par une épaisse enveloppe d'ouate, puis renfermés dans une boîte hermétiquement close.

*A.* Intercalation de 4,196 ohms dans le circuit pile-spirale. Zéro du galvanomètre = 140.

*a)* Fermeture du courant. Le galvanomètre se met en marche à la 10<sup>e</sup> seconde; à la 15<sup>e</sup> il arrive à 139 où il se fixe.

*b)* Ouverture du courant. Le galvanomètre se met en marche au bout de 5 secondes; il est revenu en 25 secondes à 140.

*c)* Fermeture du courant. Le galvanomètre se met en marche au bout de 7 secondes; il arrive au bout de 14 secondes à 142 où il se fixe (0 = 143).

*d)* Ouverture du courant. Le galvanomètre se met en marche au bout de 15 secondes; il est revenu au bout de 25 secondes à son zéro.

B. Intercalation de 1,39 ohm.

a) 0 = 142. Fermeture du courant. Le galvanomètre se met en marche au bout de 3 secondes; il arrive en 13 secondes à 140 où il se fixe.

b) Ouverture du courant. Le galvanomètre se met en marche au bout de 4 secondes; il est revenu au bout de 35 secondes à son zéro.

c) 0 = 142. Fermeture du courant. Le galvanomètre se met en marche au bout de 3 secondes; en 15 secondes il arrive à 140 où il reste.

d) Ouverture du courant. Le galvanomètre se met en marche au bout de 14 secondes; en 40 secondes il revient à son zéro.

C. Détermination de la résistance de la spirale de cuivre; sa résistance est de 0,059 ohms.

Elle pèse 17 centigrammes.

---

## BIBLIOGRAPHIE.

---

- BEAUNIS, Nouveaux éléments de physiologie humaine, 1881.
- BOWDITCH, Ueber den Nachweis der Unermüdlichkeit des Säugethiernerven. (*Archiv für Anatomie und Physiologie*, 1890.)
- What is Nerve-force? (*Proceedings of the American Association for the Advancement of science*, XXXV, 1886.)
- CHAPMAN, Treatise on human physiology, 1887.
- D'ARSONVAL, Sur un phénomène physique analogue à la conductibilité nerveuse. (*Comptes rendus de la Soc. de biologie*, 1886.)
- DE BOECK, Die Reizung des Kaninchenrückenmarkes mit der Nadel. (*Arch. für Anatomie und Physiologie*, 1888.)
- DEMOOR, Contribution à l'étude de la fibre nerveuse cérébro-spinale. (*Travaux de l'Institut Solvay*, 1891.)
- DU BOIS-REYMOND, Untersuchungen, 1849.
- Gesammelte Abhandlungen. 1875.
- EDINGER, Bericht über die Leistungen auf dem gebiete der Anatomie des Centralnervensystems in Laufe des Jahres, 1891.
- ENGELMANN, Ueber Degeneration von Nervenfasern. (*Arch. f. d. gesammte Physiol.*, XIII, 1876.)
- Ueber die Discontin. des Axencylinders und den fibrillären Bau der Nervenfasern. (*Arch. f. d. ges. Physiol.*, XXII, 1880.)
- EDES, On the method of transmission of the impulse in medullated fibres (*The Journal of Physiol.*, XIII, 5, 1892.)
- FUNKE, Ueber die Reaction der Nervensubstanz. (*Ber. d. k. k. Gesellsch. d. Wissensch.*, 1859, p. 161, et *Müller's Archiv*, 1859, p. 835.)
- Ueber Säurebildung im Nerven. (*Centralbl. f. d. medic. Wissensch.*, 1859, p. 721.)
- GSCHIEDLEN, Ueber die chemische Reaction der nervösen Centralorgane. (*Archiv f. d. gesammte Physiol.*, VIII, 1874, p. 171.)
- HEGER, Programme du cours de physiologie professé à l'Université de Bruxelles.
- HEIDENHAIN, Ueber die Reaction der thätigen Nerven. (*Studien des physiol. Instituts zu Breslau*, IV, 1868, p. 250.)
- Aufklärung auf die Entgegnung des Hrn. Ranke. (*Centralbl. f. d. medic. Wissensch.*, 1868, p. 832.)
- HELMHOLTZ, Ueber die Wärmeentwicklung bei der Muskelaction. (*Archives de Müller*, 1848.)
- HERMANN, Handbuch der Physiologie, I et II, 1879.
- LANGE, cité par NOTHNAGEL et ROSSBACH, Nouveaux éléments de matière médicale et de thérapeutique, 1880, p. 655.
- LIEBREICH, Reaction und chemische Umsetzung in thätigen Nerven. (*Tagebl. der Naturforsch. Versamml. zu Frankfurt*, 1867, p. 73. — *Centralbl. d. med. Wissensch.*, p. 676, 1868.)



- MASCHEK, Sitzungsberichte der kaiserl. Academie der Wissensch., XCV, 1887.
- MILNE-EDWARDS, Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux.
- OEHL, Gazette médicale de Paris, 1866, p. 225.
- RANKE, Die Lebensbedingungen der Nerven. Leipzig, 1868.
- RANVIER, Traité technique d'histologie. Paris, 1889.
- ROLLESTON, On the conditions of temperature in Nerves during activity and during the process of dying. (*The Journal of physiol.*, IX, n° 3.)
- SCHIFF, Recherches sur l'échauffement des nerfs et des troncs nerveux à la suite des irritations sensorielles et sensitives (*Archives de physiologie*, 1869)
- Erwärmung durchschnittener Nerven. (*Archiv f. d. gesammte Physiol.*, IV, 1871.)
- SOLVAY, HEGER et GERARD, Communication préalable au sujet de différences de potentiel existant en divers points des nerfs pendant le fonctionnement vital. (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 3<sup>e</sup> série, XXI, 1891.)
- STEWART, Notes on some applications in physiology of the resistance method of measuring temperature, etc. (*The Journal of physiol.*, XII, 1891.)
- VALENTIN, Ueber Wärmeentwicklung während der Nerventhätigkeit. (*Arch. f. pathol. Anat. und Physiol. und f. klin. Medic.*, XXVIII, 1863, et *Molesch. Untersuch.*, IX, 1865.)
- WEDENSKY, Wie rasch ermüdet der Nerv? (*Centralbl. f. d. med. Wissensch.*, 1884.)
- WUNDT, Physiologische Psychologie, 1887.
- SZANA, *Arch. f. Anat. und Physiol.*, 1891.



